This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

+ *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.

+ *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.

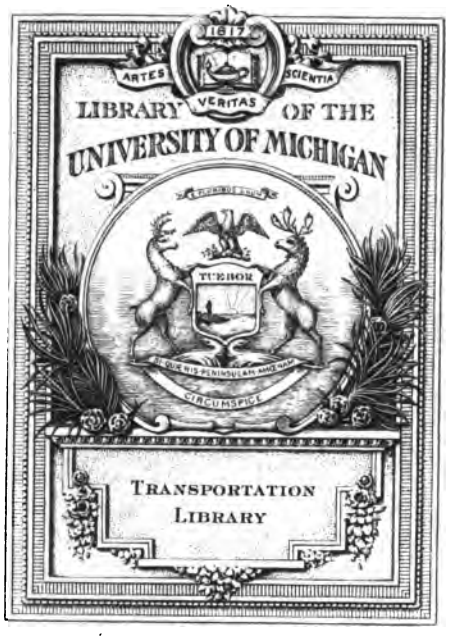
+ *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.

+ *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página `http://books.google.com`

A 774,461


1817
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
CIRCUMSPICE
TRANSPORTATION
LIBRARY

Transportation
Library
TF
144
.T797

Bird

TRANSPORTATION LIBRARY

Bird

TRANSCRIPTION LIBRARY

CAMINOS DE HIERRO.

TRATADO PRACTICO

del Ingeniero Ingles Mr. Thomas Tredgold.

SOBRE

LOS CAMINOS DE CARRILES DE HIERRO, Y LOS CARRUAGES, MAQUINAS DE VAPOR Y DE GAS, YA MOVIBLES Ó LOCO-MOTRICES, YA ESTABLES, Y CUANTO CONVIENE SABER PARA CONSTRUIRLOS.

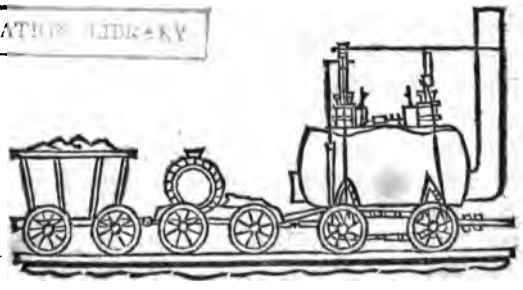
CONTIENE

Una juiciosa comparacion de los tres medios de comunicacion interior, por canales, carreteras y caminos de hierro. Los principios para graduar la fuerza de los carriles, sus proporciones, gastos y productos; las condiciones para qne sean útiles, económicos y durables, con los cálculos sobre el uso de caballerías, carros y bombas; su efecto útil, y su costo comparativamente; y una porcion de tablas curiosísimas, y estampas para su inteligencia.

PUESTO EN CASTELLANO

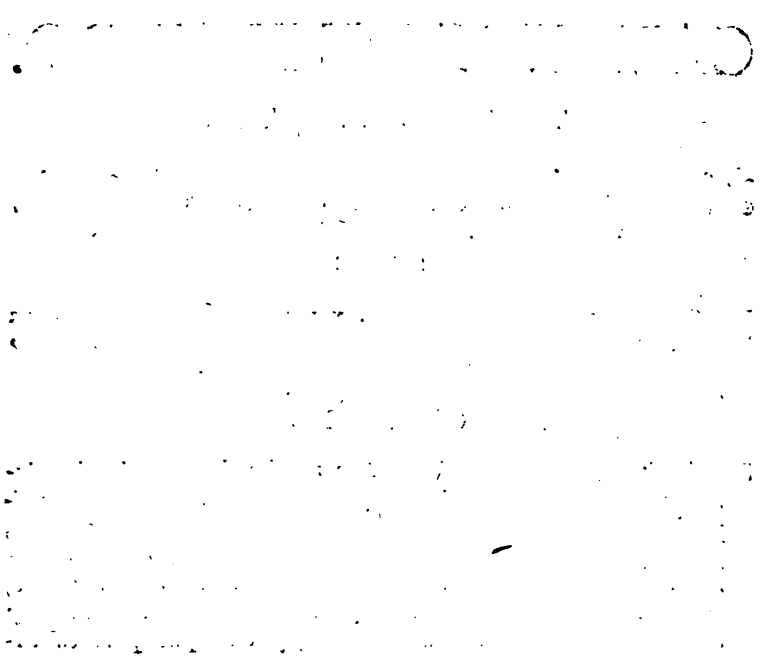
por D. Gregorio Gonzalez Azaola, comisionado por S. M. en las Reales Fábricas de Artillería de la Cavada.

TRANSPORTATION LIBRARY



MADRID: enero 1831.

Oficina de D. Federico Moreno, PLAZUELA DE AFLIGIDOS, n. 1.



Gunnuchian 10-23-33 Transportation Library

ADVERTENCIA.

En la Memoria sobre la hornaguera y hierro que publiqué en París por Noviembre de 1828, indiqué sumariamente las ventajas de los carriles de hierro, y su mayor utilidad en España, lo uno porque abundamos de minerales de hierro y carbon de piedra para hacerlos con economía, y lo otro porque ya que tenemos (no se si decir) la desgracia ó fortuna de no haber concluido ningun canal, podemos plantear ahora un sistema de carriles que facilitando las comunicaciones aun mejor que los canales, nos ahorren muchos millones de primera construccion y conservacion, y preserven nuestra escasa poblacion de un diluvio de tercianas y enfermedades, que debe ser uno de los primeros cuidados en toda region ardiente cual nuestra península. Los riegos se harian despues con acéquias, bombas y fuentes ascendentes.

Autorizada posteriormente la Real Junta de Aranceles por S. M. para proponer los medios de hacer un ensayo de un carril de hierro desde las principales minas de carbon hasta el puerto mas inmediato, se dignó pedirme un informe acerca de este particular en 9 de Julio de 1829, y despues de algunas contestaciones que hemos tenido, dirigidas á persuadirla que todo el mérito de este primer ensayo seria que se hiciese el carril con hierro de España, en hornos-altos y por operarios españoles, y con carbon de piedra de España, para lo cual convendria esperar unos meses, hasta que se organizase la empresa de minas y fundiciones que tenia propuesta al gobierno, me apresuré á traducir esta obra de Tredgold, remitiéndosela desde Santander eu 8 de Noviembre del mismo año

E. J. K. 1-29-45

á fin de que viese la Junta con imparcialidad los casos y circunstancias en que son mas útiles los carriles que los canales, y examinase sus cálculos, publicándola, si gustaba, para que la nacion se aprovechase de las delicadas esperiencias y cuestiones luminosas que toca, relativas á los 3 medios de comunicacion por carreteras, canales y carriles de hierro, empleo de máquinas, fuerza de las caballerias, diferencia de ruedas, ejes y carruages, variedad de carriles, gastos de combustible y otras varias demostraciones importantísimas en la práctica.

Nada mas curioso en el dia que la aplicacion oportuna de estos principios sólidos de Geometria y Mecánica á la construccion de carriles de hierro en España. Aleccionados por la esperiencia de los ingleses, podemos evitar, sin necesidad de tanteos, el malgasto de caudales cuantiosos en obras públicas costosísimas que desde luego se den por inútiles, ó no produzcan desde un principio todas las ventajas posibles; y asi dejándonos de la manía de querer abrir canales por todas partes, concluiremos y haremos solamente aquellos que mas nos convengan para el riego y navegacion interior, pero nos atendremos á los carriles de hierro como mas útiles y económicos, empezando por donde los ingleses acaban.

Estos grandes calculadores, á pesar de tantas y tan escelentes carreteras, y tantos rios y canales navegables como tienen para su inmenso tráfico, todavia encuentran utilidad y economia en hacer carriles de hierro, paralelos ó inmediatos á los mismos canales; y aunque el interes particular de los propietarios ó ricas compañías de navegacion se ha opuesto terriblemente á la construccion de carriles de hierro, sin embargo allí todos los intereses particulares callan ó se concilian bien pronto cuando se trata del público, y ya se ven centenares de millas de carriles construidos en todas direcciones para usos particulares y para generales. Citaré solo en apoyo de esta verdad el nuevo carril de hierro desde Liverpool á Manchester que debe tener unas 33 millas y costará 65 millones de reales, el cual, á pesar de haberse trazado por un terreno muy desigual, á pesar de sus largas minas por bajo de la ciudad de Liverpool, y haber gastado en hora-

dar cerros, levantar terraplenes, colmar hondonadas, construir 25 puentes y 36 alcantarillas grandes y otras obras costosas una cantidad escesiva, sin embargo, animada la empresa con la perspectiva del inmenso tráfico que hay entre estas dos ciudades, el cual no baja de 105@@ castellanas diariamente, ha seguido con su tema adelante y está hoy concluyendo su carril, que aunque no sirva mas que para conducir la mitad de los frutos y algodones que hasta ahora van por agua, los llevará con doble equidad y prontitud y puede ganar seguramente de 7 á 8 millones de reales al año en contraposicion del canal y reintegrarse de su capital en muy poco tiempo.

Examina Tredgold con tanto juicio todos los puntos controvertibles acerca de la construccion de carriles y canales, que nada mas á propósito que su obra para ilustrar estas materias nuevas y difíciles, desengañando á los gobiernos y empresarios sobre la preferencia de unas ú otras obras; y como por otra parte observa la mayor circunspeccion cuando trata de las ventajas particulares de los carriles y sus aplicaciones al comercio general sin exagerarlas como otros ingenieros ingleses, aun antes de haberse esperimentado, he preferido por todos motivos su tratado práctico, juzgando que este basta y sobra para que podamos empezar á construir los primeros carriles de España.

La lectura de esta preciosa obrita será en este concepto muy provechosa á todos los ingenieros, á los directores de fábricas, constructores de máquinas, fundidores en grande, propietarios de minas ó de ferrerias y otros establecimientos metalúrgicos; y en general á los arquitectos y aparejadores que tienen que disponer el movimiento de grandes masas desde las canteras á las obras públicas; á los aficionados á las ciencias útiles y exactas y á los capitalistas y comerciantes, que puedan hallarse en el caso de formar alguna empresa cerca de un puerto, de una fábrica, mina, cantera ó plaza de mucho tráfico con el fin de transportar sus productos rápidamente y á muy poca costa; pero no dejará de ser tambien útil á otros muchos particulares, como los dueños de carruages ó de diligencias, postas, galeras y carros por las de-

mostraciones que en ella se hacen de las proporciones y dimensiones de ejes y ruedas, modo de cargar y enganchar, y otras observaciones muy interesantes para sacar el mayor partido posible con la misma cantidad de fuerza.

Tambien contribuirá á desimpresionar á muchos del error en que pueden haber caído de que en todas partes conviene hacer carriles de hierro en lugar de caminos ó calzadas ordinarias. Un carril de hierro para el uso particular de una fábrica, una mina, cantera etc., puede tener cuenta en cualquier punto para ahorrar muchos gastos de portes y jornales, y acelerar la conduccion de los efectos estraordinariamente; pero un carril de uso general para el comercio, y que ponga en comunicacion dos ciudades opulentas ó provincias distantes no puede sostenerse con ventaja por ninguna compañía siempre que el tráfico diario por aquella línea no pase de algunos miles de @. No todas las plazas de comercio pueden ser comó Liverpool y Manchester, de un giro de 38 á 40 millones de @ anuales de géneros: de esto se ve poco en el mundo; pero siempre será necesario que para poder costearse un carril haya un transporte constante de 5 á 6 millones de @ lo menos al año, ó que corresponda de 15 á 16@ diarias con corta diferencia.

Tengo indicado mucho tiempo hace que el primer ensayo de carril de hierro que debia haberse ejecutado en España, es el de las minas de hierro de Somorostro al embarcadero de las venas. Y en otra Memoria que tengo escrita sobre los canales y carriles de España, y que publicaré cuando pueda, designo otros muy interesantes, sobre cuya ejecucion y ventajas he hablado antes de ahora con algunos amigos, como el de Langreo á Gijon; el de Jerez á la bahía de Cádiz; el de Reus al puerto de Salon; el de Reinosa á la Requejada; el de las minas de carbon del Guesna ó de la compañía del Guadalquivir al embarcadero de este rio; el de Zaragoza al canal de Aragon, y desde Tudela á su origen; el de Valencia al Grao; el de las minas de carbon de Valderedible desde un punto del Ebro junto á Villanueva de Lania hasta Quintanilla ú otro á que llegue el canal de Castilla, con otros va-

rios que allí manifiesto y creo deben ejecutarse cuanto antes para salvar enormes dificultades y evitar cuantiosos gastos en nuestros canales hechos y por hacer ó enlazar estos algun dia unos con otros con grandes ventajas.

Pero aun cuando no fuera mas que por esperimentar con el debido pulso y detenimiento cuán preferibles eran los carriles á los canales en algunas provincias con respecto á la salubridad pública, celebraría en el alma que dando por supuesto que solo hubiese una igualdad perfecta de circunstancias, y que costase lo mismo un carril que un canal asi de primera construccion como de conservacion, y que se hiciesen por uno y otro los transportes con la misma equidad y celeridad (cosa que nunca sucederá), sirviese esta obrita para escitar á la construccion de un carril de hierro en alguna de las provincias meridionales. Yo estoy tan intimamente persuadido de las ventajas que llevan los carriles á los canales, sobre todo en los paises cálidos, que no me cansaré de clamar que aunque no escedieran en otra cosa á las comunicaciones por agua mas que en conservar ilesa la salud pública, debiamos apresurarnos á adoptarlos en una nacion tan despoblada y espuesta á tercianas, contagios y epidemias de calenturas, como las que en lo antiguo y en nuestros dias han desolado por desgracia la España.

El primer bien y riqueza de un reino es una poblacion robusta y numerosa, y asi todo cuanto se dirija á conservarla y multiplicarla debemos promoverlo hasta el entusiasmo. Las aguas rebalsadas en los canales de esclusa en esclusa de cuatro pies (y acaso menos) de desnibel por legua, para que la navegacion ascendente sea cómoda, segun sienta Ganthey; ó con la poca corriente que en ellos deben tener, para que no se desperdicien en un suelo tan quebrado y desnivelado como el nuestro, son un vecino muy terrible para las poblaciones, porque formándose en sus márgenes y en toda la línea un foco de vapores y gases nocivos, atacan la vitalidad é infectando toda una region de calenturas rebeldes, despueblan insensiblemente los sitios mas amenos y fértiles. Esto no lo ven tan claro, porque no lo padecen, y en los paises sep-

tentrionales como Inglaterra pero en los meridionales como en nuestra España no se juega impunemente con las aguas superficiales, antes bien se paga muy caro. Vemos la horrible mortandad que produce el cultivo del arroz, é inmediacion de los marjales en la parte de Levante; vemos la inestinguible epidemia de calenturas malignas que reina en los pueblos inmediatos á las marismas de Andalucia, y otros puntos en que hay aguas encharcadas: vemos lo enfermizas que son las riberas de algunos de nuestros rios que atraviesan mansamente por algunas llanuras de la Peninsula; vemos lo achacosos que se crian y lo poco que viven los habitantes próximos á lagunas, estanques, pántanos, balsas etc., vemos lo que está ya pasando á las márgenes de las pocas leguas de canales que en el dia tenemos, y vemos como se despobló Tembleque á principios de este siglo, y como se despoblaron momentáneamente, segun cuenta la historia, sobre todo muchos de Andalucia segun la famosa manuscrita del Cura de los Palacios, de resultas de avenidas, inundaciones y estancamiento de aguas; historias largas y funestas de que podria citar mil egemplos, si me propusiera contristar los ánimos de los mas aficionados á canales y obras de agua, como lo he sido yo antes., pero lo cierto es que si un historiador medico-filosofo nos diera un resumen de la mortandad causada en cada siglo por la multitud de enfermedades debidas á la acumulacion y estancamiento de aguas superficiales, nos horrorizariamos para siempre de tan enorme pérdida de fuerza productiva, y nos asombrariamos del influjo de las aguas con lento movimiento para viciar la atmósfera en paises ardientes.

Sentiría á la verdad que se me enojasen por esto los canalistas, pero la amistad de Platon y de Sócrates no debe alucinarnos, y es harto evidente que la salud pública es la ley primera de todas, así como el mayor número de brazos robustos y trabajadores la riqueza principal de un estado. Antes es tener poblacion e industria rural y fabril que canales, pues estos bien poco aprovecharan atravesando provincias incultas y desiertas. Dediquense, pues, los ingenieros á calcular y trabajar sobre cárriles de hierro lo mismo que lo hacian antes en punto á canales, y el re-

sultado será igual para ellos, al paso que mucho mas ventajoso para la nacion. Los mismos conocimientos matemáticos requiere casi la construccion de un carril que la de un canal, pero si por un lado se escusan los de hidráulica tambien se exigen por el otro mucho mayores de metalurgia y mecánica. Los carriles igualmente que los canales promueven la actividad del comercio en general, pero los carriles tienen ademas la inapreciable ventaja de fomentar directamente el beneficio de las minas en grande, las fundiciones de hierro que son el fundamento de casi todas las clases de industria, y la construccion de bombas y máquinas: lo que los canales, no tanto, y sí mas el comercio de quina y quinina ó la medicina y farmacia.

Otra de las ventajas incalculables que producirán algun dia los carriles de hierro, es la del ahorro de bestias de carga y de tiro, por el uso económico de máquinas locomotrices á que ellos convidan, y se irán estableciendo indispensablemente. Los ingleses han calculado que teniendo hoy dia próximamente unos 500000 caballos empleados en todo género de conducciones de carros, diligencias, postas etc, les vienen á costar en cada 12 años, de principal, intereses, manutencion, pérdidas ect, 173½ millones de libras esterlinas, ó sean mas de 17000 millones de reales que harán unos 1,445 millones y pico de reales al año. Y como todo lo que conducen dichos 500000 caballos se podia conducir con menos de 10000 máquinas de vapor, si el acarreo se verificase por carriles de hierro, han demostrado que si así fuese, solo gastarian en cada 12 años de principal, intereses y combustible unos 35½ millones de libras esterlinas, ó sean 295½ millones de reales cada año, con lo que el ahorro llegaria á ascender de 13 á 14000 millones de reales en los 12 años, ó sea algo mas de 1000 millones cada año. ¿Quién puede dudar de esta demostracion, y de esta inmensa economía que llegarán á introducir con el tiempo los carriles de hierro? ¿Y quién no conoce que este crecidísimo ahorro de fuerzas y gastos, podrá emplearse entonces mucho mas utilmente en todas las labores de la agricultura y las artes, ó en otros muchos usos y faenas que no pueden suplirse con las máquinas?

En Inglaterra, que todo se calcula, todo se sujeta á reglas y medidas, ó se hace con razon suficiente, un tratado como éste de Tredgold, fundado en esperiencias y cálculos, llega á ser con el tiempo como la pauta y norma de todos los maquinistas ó grandes profesores prácticos de mecánica, de los constructores de caminos y canales, metalurgistas, fundidores, é ingenieros civiles etc, porque hallándose bien sentada la reputacion científica del autor, ahorra una multitud de tanteos costosos, y facilita estraordinariamente la fabricacion de todas y cada una de las piezas de los carriles, máquinas, carruages, ruedas, eges y demas. Por eso, no fiándose de las esperiencias hechas con el dinamómetro, las dispuso y varió á su gusto, como se verá en su lugar: y escrupuloso y delicado hasta lo sumo, como es preciso serlo cuando se tratan materias tan importantes y sublimes, se lamenta con razon al hablar de la fuerza y propiedades de las máquinas de vapor, de que no estubiesen hechas todas las investigaciones científicas que tanto pueden interesar á los muchos que ya se valen de estos poderosos motores, pues la teoría de la espansion del vapor sobre que trabajaron á una Mr. Watt y el doctor Robison, no hace mérito alguno de las circunstancias que limitan su aplicacion en la práctica; la relacion de todas las partes de una máquina entre sí, cosa tan esencial para hacer perfecta su accion, no está establecida sobre principios fijos, sino sobre datos sacados de muchos ensayos, y nadie parece haber indagado aun las proporciones que producirian el máximo efecto de una máquina, bajo éste ó el otro término dado; y por último que no se halla aun determinado el calor específico del vapor en sus diferentes estados, como si no mereciese este punto la atencion de los sábios ingleses, para contener siquiera las ideas exageradas que en estos últimos tiempos se han difundido sobre las ventajas del vapor á alta presion.

Una obra, pues, de esta escrupulosidad y naturaleza en que todo se lleva con tal exactitud, debe producir un doble beneficio en España, donde no estamos muy acostumbrados á ver hacer cosas de máquinas, ni de obras públicas, carruages, artefactos, muebles preciosos, ins-

trumentos útiles para las artes ect, etc, ajustados á tanta severidad de reglas y principios, sino hacerlo ó mandarlo hacer un poco á nuestra fantasía. Asi que no solo servirá de norma á sábios é inteligentes, sino tambien de modelo á otros para discurrir atinadamente en materias de mecánica, ó como un egemplo de lógica práctica para todo artista que no quiera hacer ir las cosas á ojo, sino fundadas en la razon, objeto y destino para que han de servir, y en la economía y ventajas que van á buscarse en su uso.

Desde luego habia pensado atenerme fielmente á la obra inglesa original cuando me resolví á traducirla, pero habiendo visto la version francesa hecha por Mr. Duverne, antiguo oficial de marina, la cual, me pareció muy correcta, traté de cotejarlas ante todas cosas, y asegurado de su fidelidad, me he gobernado por esta, á causa de que Duverne vi que me aliviaba mucho el trabajo dándome reducidas al sistema métrico las innumerables citas de medidas inglesas que á cada paso se encuentran en la obra; y como el sistema métrico es el mas sábio, el mas cómodo para todas las subdivisiones, y el que se vá por necesidad generalizando en la práctica de artes y ciencias, he preferido conservar su correspondencia con el de pesos y medidas de Inglaterra, sin sobrecargarle con la correspondencia contínua de las de España, para no fastidiar á los lectores. Los sábios no necesitan esta pesadéz y machaquería: y los demas, siendo ya el métro tan conocido en todas las naciones cultas, y viendo aq i á continuacion la correspondencia de sus principales medidas y derivaciones, cualquiera puede hacer la reduccion de aquellas que necesite al *paso que se le ofrezcan*.

La unidad lineal que se adoptó por los sábios, como base fundamental del sistema métrico, fue la diez millonésima parte de los 90 grados ó distancias que hay desde el Ecuador al polo Norte, calculada en el meridiano que pasa por Paris, y se llamó *métro* de la palabra griega que significa medida, cuya longitud es igual á 43 pulgadas y 8 décimas de línea del pie español.

Siguiendo la division decimal, se dividió el métro en 10 partes iguales, llamándolas *decímetros*, cada decíme-

tro en otras 10 llamadas *centímetros*, y cada centímetro en otras 10 llamadas *milímetros*.

Por el mismo órden, cada decena de métros, se llamó *decámetro*; cada centena de métros *hectómetro*; cada millar de métros, *kilómetro*; y cada decena de millar de métros, *miriámetro*, de las voces griegas que significan lo dicho.

Para unidad de las medidas de volúmen y capacidad, se eligió un cubo que tiene por lado un *decímetro*, el cual se llamó *litro*, y se siguió la propia division.

Para unidad de peso, se escogió la llamada *grama* que equivale al peso de la cantidad de agua pura contenida en un *centímetro* cúbico. Y por el mismo estilo, la unidad monetaria que se llamó *franco*, y pesa 5 gramas, se dividió en décimas y centésimas partes ect.

Medidas y pesos métricos mas necesarios para la inteligencia y cálculos de esta obra, reducidos á los castellanos.

Miriámetro = diez mil metros = 11963,07 varas castellanas: poco menos de 1¼ legua española.

Kilómetro = mil metros = 1196,307 varas id.: algo mas de un medio cuarto de legua.

Hectómetro = cien metros = 119,6307 varas id. = 119 varas, 1 pie 10 pulgadas, 8 líneas castellanas.

Decámetro = diez métros = 11,963 varas id. = 11 varas, 2 pies 10 pulgadas 8 líneas id.

Métro: unidad lineal = 1,196307 varas id. = 3 pies 7 pulgadas, 0,805 líneas.

Decímetro = decima parte de métro = 4,3067 pulgadas, = 4 pulg. 3,6805 líneas.

Centímetro = centésima parte de métro = 5,168 líneas, = 5 lin. 2,02 puntos.

Milímetro = milésima parte de metro = 0,5168 de línea, = 6,202 puntos, ó muy poco mas de 1 línea.

Miriagrama = diez mil gramas = 21,73474 libras castellanas = 21 libras 11 onzas, 12 adarmes, 3 granos.

Kilógrama = mil gramas = 2,173474 lib. id. = 2 lib. 2 onzas 12 adarmes, 14 granos, 0,7 de grano.

Hectógrama = cien gramas = 3,477558 onzas castellanas = 3. onzas, 7 adarmes, 23 granos, 0,07 de grano.
Decágrama = diez gramas = 5,564 adarmes = 5 adarmes 20 granos, 0,307 de grano.
Grama: unidad de peso = 20, ó 031 granos.
Decigrama = décima parte de grama = 2,003 de grano.
Centigrama = centésima parte de grama = 0,2003 de grano.
Miligrama = milésima parte de grama = 0,02003 de grano.

El Hectolitro, medida de áridos = cien litros = 1,79909 fanegas castellanas.

El pie ingles = 1,0938951 pies españoles. La yarda tiene 3 pies ingleses.
La milla inglesa = 0,28885: de la legua española tiene 5280 pies ingleses.
La tonelada inglesa = 20 quintales de á 112 libras de las *d' avoir du potds*
El quintal inglés = 110,3824 libras castellanas.
La libra inglesa *d' avoir du poids* = 0,98556 de la libra castellana.

La libra esterlina, moneda imaginaria de Inglaterra: tiene 20 chelines, y corresponde á 98 reales 29,52 maravedises de vellon.
El chelin tiene 12 peniques, y cada penique 4 farthings.
Un chelin, equivale á 4 rs. 16,776 maravedises vellon.
Un penique equivale á 12,731 maravedises.
Un farthing á 3,182 maravedises vellon.

NOTA.

El autor se propuso reducir todas las medidas y pesos á las de Castilla; pero viendo lo engorrosa que se iba á hacer la lectura de la obra con tanto guarismo y paréntesis de correspondencias numéricas, y el ímprobo trabajo que esto traía á la Imprenta misma esponiendo á continuas equivocaciones, determinó omitir toda reduccion al tiempo de tener que ausentarse de esta capital, y poner solo al principio, en obsequio de los pocos lectores que no estubiesen versados en el sistema métrico, una tabla sencilla de las unidades principales de él, con sus correspondencias á los pesos y medidas de Castilla.

Así lo encargó; mas sin embargo, quedaron las mas en los primeros capítulos por no haberse tachado en el original. Los sábios verdaderamente no necesitan de lo uno, ni de lo otro; pero los demas bastante tendrán con la referida tabla para saber las líneas, pulgadas, libras, arrobas etc., correspondientes á cada caso que les interese averiguar, ó poner en egecucion.

CAMINOS DE HIERRO.

CAPITULO PRIMERO.

De los caminos de carriles de hierro, de las comunicaciones interiores de un pais en general, y de las de hierro de Inglaterra en particular.

1.° *Caminos con carriles de hierro.* La construccion de un camino con carriles de hierro ú otra materia tiene por objeto el formar superficies duras, lisas y de mucha duracion, sobre las cuales puedan rodar fácilmente las ruedas de los carruages. Redúcense estas superficies á unos barrotes ó carriles de hierro levantados á cierta altura del suelo, colocados paralelamente y separados por un camino cubierto de guijo ó cascajo menudo, para que las caballerías de tiro puedan caminar y trabajar con holgura, mientras los carros ruedan sobre superficies sólidas y lisas. Las ruedas de los carros construidos para andar por estos caminos se mantienen sobre los barrotes por medio de unos bordes que las obligan á dirijirse siempre por ellos, siendo su llanta ó circunferencia tambien de hierro, y bien igual todo al rededor. *Véase en la estampa* 1.ª, *fig.* 1.ª, un trozo de camino de carril doble con unos carros cargados, que se supone descubierto un poco por un lado para que se perciba mejor el modo de construirlos.

Al ver con qué facilidad puede ponerse en movimiento el carro mas pesado sobre un camino de esta suerte, es muy de admirar como no se ha generalizado mas un medio de conduccion tan sencillo, tan resistente y tan económico. No es nueva, por cierto, la idea de hacer rodar los carruages sobre superficies tersas, pero las caballerías no tiran por ellas con facilidad, pues se escurren sin hacer hincapie. Por eso en Florencia la parte del enlosado por donde van las ruedas es de mármol duro y terso, y la otra sobre que marchan las caballerías es de piedra ordinaria.

Largo tiempo há ya que en Inglaterra se supo sacar un buen partido del uso de los carriles de madera para que las ruedas de los carros rodasen siempre por ellos; mas al cabo se vino á echar mano del hierro colado que es sin disputa mas ventajoso, por ser materia mas dura y consistente que el mármol de que se han valido los italianos.

Con el hierro se logra una superficie dura, igual, tersa, cuyo costo es comparativamente de corta consideracion, y en la cual apenas halla la fuerza motriz otra resistencia que vencer mas que el frotamiento del eje. Un carro rodando sobre una superficie de hierro es muy parecido á un cuerpo cualquiera que se hace correr por encima de un cristal: es bien sabido que con la mas mínima fuerza se le da una estraordinaria velocidad, y aun cuando la tersura del cristal lleve ventaja á la lisura del hierro, el uso de las ruedas la compensa muy bien. El efecto de la resistencia del aire y la ley del aumento de frotacion son iguales en ambos casos. Ya hace años que el Dr. Young vislumbró las grandes ventajas de los caminos de hierro cuando en su obra impresa en 1807, dijo que si los caminos se enlosasen con hierro se harian viajes mucho mas espeditos, porque entonces no habria que vencer otra resistencia mas que la del aire, y se podria aumentar indefinidamente la velocidad.

Un camino de hierro tiene toda la seguridad de una calzada ó camino real, y ofrece una economía de siete octavos en la fuerza motriz, porque un caballo solo produce en un camino de esta especie otro tanto efecto como ocho caballos en un camino ordinario. Cuando el efecto medio producido por una fuerza dada no pasa de cosa de tres millas por hora (4800 metros) un camino de hierro viene á ser como el término medio entre una calzada y un canal; pero si se trata de que los acarreos se hagan con mayor celeridad, un camino de hierro nos dará un efecto igual y aun superior al de un canal.

La certeza y pronta espedicion son de tanta importancia en el comercio, que un leve aumento de gasto no merece tomarse en consideracion. La seguridad del abastecimiento de los mercados debe llegar con el tiempo á disminuir la alza y baja de precios, y hacer cesar las alternativas de superabundancia y escasez que se esperimentan contínuamente de resultas de vientos contrarios, avenidas, malos caminos, malos tiempos etc. etc. Todo lo que se dirije á asegurar el transporte de frutos y mercancías, debe abaratarlos para el consumidor, porque en teniendo esta seguridad, ni se necesitan tantos capitales para acopio de provisiones ni tantos almacenes para conservarlos. Con

un buen sistema de acarreos, al punto que se hagan pedidos estraordinarios, todos los capitales de un pais pueden ocuparse al momento. Y aun es de creer que á medida que se aumente la facilidad y seguridad de las comunicaciones cesen tambien en parte los motivos que hoy mueven á la poblacion, á acumularse en las capitales y grandes ciudades.

Este género de observaciones tienen principalmente relacion con el estado actual del comercio de Inglaterra, porque su vasta estension, y los medios de economizar toda clase de gastos son alli de suma importancia. Los ingleses se consideran siempre como rivales de las demas naciones en esta parte, y asi todo lo que pueda contribuir á abastecer sus propios mercados y los del estrangero á precios mas cómodos, y de géneros de superior calidad, llama mucho su atencion porque conduce necesariamente al aumento de su prosperidad y riqueza nacional.

2.° *Ventajas de las comunicaciones interiores.* La mejora de los medios de comunicarse en el interior no puede menos de producir muchos beneficios á un pais, facilitando el acceso á los mercados á los productos de la agricultura de aquellos territorios mas favorecidos del cielo, é igualando asi en cierto modo la distribucion de estos productos. En todo pais de gran estension debe haber por precision una diferencia muy notable en la naturaleza de los terrenos, y es muy poco probable que las mejores tierras sean tambien las mejor situadas para poderse vender bien sus productos sin el auxilio de medios artificiales para conducirlos á los puntos en que tengan toda su estimacion; y por lo tanto es evidente que á no recurrir á algun modo fácil de transporte, se harán los acopios de frutos á mucho mayor coste, de terrenos de calidad inferior, ó quizás de tierras cuyo cultivo exija mayores capitales sin que saque por eso mas productos, y sin que tenga ni aun tanta seguridad de sacar los necesarios para reembolsarse de las anticipaciones hechas y del interés regular de su dinero.

Ademas de la ventaja de hacer estensivos los productos de los territorios fértiles á todas las partes de una nacion, y eso á precios equitativos, tiene tambien otra un modo de transporte asi, económico y regular, que es la de abrir nuevas salidas á otros muchos artículos, pues crea nuevos manantiales de cambios y consumos, promueve y estiende el trabajo y la industria, y auyenta la indolencia y pereza que se arraigan tan fácilmente por donde quiera, cuando el pueblo por carecer de estos recursos, no conoce ni puede disfrutar de otras cosas mas que las de primera necesidad. Los acarreos ordinarios por tier-

ra hacen subir de tal manera los precios de todos los frutos y objetos pesados ó voluminosos, que los habitantes de los pueblos del interior se ven obligados á contentarse con aquello que su tierra propia les suministra. En unos parajes escasea el combustible, en otros los materiales de construccion, y asi por este órden otros artículos, de que resulta el abatimiento é indiferencia que notamos en varios paises.

No hay duda que la construccion de carreteras, canales y caminos de hierro es cosa de mucho gasto; pero tambien es cierto que sabiendo dirijir los trabajos como es debido, se logra dar ocupacion á las clases mas infelices y se reparten oportunamente verdaderos socorros entre los pueblos que luego han de sacar infinitas ventajas de estos medios de comunicacion. La mayor parte de las faenas que exige la construccion de un camino de hierro pueden hacerse con utilidad á destajo y ocupar asi toda clase de operarios.

3.° *Caminos de los romanos.* Se consideraba por de tan alta importancia la construccion de buenos caminos públicos entre los antiguos romanos, que todas las ciudades principales de su vasto imperio estaban en comunicacion mediante una multitud de caminos mucho mejores que los que se han construido despues, y aun todavia mas costosos que nuestros mejores caminos de hierro. Hacíanlos con tanta solidez que quince siglos de abandono no han podido acabar con ellos. Las provincias mas distantes tenian asi en todo tiempo fácil comunicacion entre sí; y con toda la celeridad necesaria cuando las circunstancias lo requerian. Seguian casi en línea recta de una ciudad á otra, y todos los obstáculos naturales de rios, montes, lagunas, pantanos, todo se superaba á fuerza de arte y trabajo, por lo que siempre han merecido la admiracion universal. En las grandes llanuras iba el camino elevado por terraplen como señoreándose del pais; y se componia de varias camadas de piedra y cascajo unidas por medio de una mezcla escelente. La superficie se empedraba generalmente con piedra regular; pero en las inmediaciones de Roma con mármoles, y en algunas partes con trozos de lava dura, cortados en forma de polígonos irregulares, pero tan justamente unidos, que Paladio creia que debieron servirse de patrones de plomo para tomar los ángulos y contornos y acomodarlos con tal exactitud. En los terrenos montuosos iban alternativamente, ya abiertos á pico en las rocas, y ya levantados en las hondonadas para guardar su nivel ó llevar un descenso suave y uniforme segun mejor les convenia. Si el piso no les parecia bastante sólido lo ma-

zizaban con obra de cal y canto, sosteniendo el camino con murallones por ambos lados, ó elevándole sobre arcos y machones.

Los caminos de los romanos eran mucho mas estrechos que los nuestros, pues el ancho de la calzada para los carruages era de ocho pies romanos (menos de 2½ metros); mas tambien sus carros eran menos anchos, pues la distancia de rueda á rueda no era mas que de unos diez y medio decimetros. El empedrado de sus grandes vias militares era mas ancho, pues tenia cerca de seis metros, con un sendero á cada banda no empedrado, separado del camino por un andén, de modo que el ancho total de las principales vias militares no bajaba de 14 á 15 varas.

Eran 29 las vias militares que salian de Roma, como la Appia, la Aurelia, la Flaminia etc., algunas de las cuales llegaban hasta los confines del imperio, y el conjunto de todas componian el número de 52,964 millas romanas, que hacen unas 15⁰500 leguas de 25 al grado.

Sin embargo, en Roma la construccion de los caminos era un negocio puramente político, y en Inglaterra interesa mas bien al comercio, ofreciéndole un sistema de comunicaciones seguras y rápidas para la venta ó cambio de sus frutos y géneros; y como es muy justo hacer que todos los individuos de un mismo estado gozen en cuanto sea dable de las mismas facilidades para el tráfico, es claro que deben fomentarse todos los medios de comunicacion interior, prefiriendo aquellos puntos que ó por los productos de su agricultura, ó los de sus minas ó fábricas, brindan con mayores utilidades.

4.° *Comparacion de las ventajas de las carreteras, canales y caminos de hierro.* Hasta aqui han sido los canales el único medio empleado para facilitar el comercio interior, y en verdad que tratándose de llevar géneros muy pesados, ofrecen tantas ventajas que nadie habia pensado valerse de otros medios para este objeto hasta hace muy pocos años; pero en el dia de hoy los caminos de hierro han llamado mucho la atencion de las gentes, y por lo mismo se publica esta obra con el fin de dar á conocer su construccion, su uso y medios que convendria adoptar para mejorarlos.

Los caminos de carriles que han pintado hasta aqui mejor han sido los de las minas destinados á llevar sus productos en cantidades muy considerables y á ciertas y determinadas distancias. Los demas que se han ensayado para las atenciones generales del comercio, sino han correspondido enteramente á las

esperanzas de los que les han establecido, parece haber sido por atenerse demasiado materialmente á los modelos de los de las minas que de ninguna manera convenian al objeto general del comercio.

Si nos proponemos comparar ahora los caminos de hierro con los canales y carreteras ordinarias, desde luego se echa de ver que cada método tiene sus particularidades, como sucede á cualquier otra cosa, y por lo mismo lo que importa conocer bien son estas particularidades, lo que trataremos de hacer aqui con la posible concision para compararlas mejor.

Ante todas cosas debemos sentar que en cada modo de comunicacion ha de procurarse combinar la economía con la prontitud, la seguridad y certeza con la comodidad. Tambien es preciso atender á aquello que exije especialmente cada género de comunicacion.

Un canal necesita agua y es indispensable saber que cantidad necesita y cuanta consume: no admite variaciones de nivel muy notables, y las esclusas y detenciones que estas originan ocasionan gastos bastante grandes. La navegacion de un canal está espuesta á frecuentes interrupciones, ya por los hielos, ya por las avenidas, composiciones etc., y en toda especie de comercio, semejantes interrupciones acarrean graves inconvenientes, y á veces averías, yerros de cuenta y pérdidas. Los canales perjudican tambien al derecho que muchos puedan tener al curso y aprovechamiento de las aguas, ó al desecamiento de los terrenos, causando á las propiedades que atraviesan un daño infinitamente mayor que si se tomase la parte que ocupan. Los gastos de construccion de un canal esceden á los de un camino de hierro, y lo mismo los de las reparaciones anuales, dependiendo la diferencia de la naturaleza del terreno. En un pais á propósito para canales, la diferencia del primer costo es mas que compensada por el mayor efecto que produce un motor cualquiera sobre el canal que sobre el camino de hierro, con tal que la velocidad no sea mucho mas de legua por hora.

Mas como la resistencia de los cuerpos que se mueven en un fluido vaya aumentando en razon del cuadrado de las velocidades, y por otra parte se deterioren mucho las márgenes de un canal con la demasiada rapidez del agua, los barcos que navegan por ellos apenas pueden salir de la marcha regular, cuando en los caminos de hierro por el contrario se puede lograr con menos esfuerzo mucha mayor velocidad, aun sirviéndose de caballerias.

Un camino de hierro tiene mas analogía con una carretera que con un canal, asi por su construccion como por su servicio. Se diferencia de la carretera en exigir ser hecho á nivel ó con un declive suave, subiendo y bajando por medio de planos inclinados en lugar de aquellas ondulaciones irregulares que se ven en los caminos reales. La necesidad de estas nivelaciones es lo que hace mas costoso un camino de hierro que una carretera; pues el gasto de un camino de hierro puede ser á veces menor que el de una buena carretera por el mismo parage, siendo tambien el interés de la mayor cantidad de capital que costará el camino de hierro, menor que lo que habrá que gastar de mas cada año para conservar en buen estado la carretera. Pero para eso un caballo llevará por un camino de hierro ocho tantos mas que por una carretera, suponiendo que vayan al mismo paso, y es posible que esta diminucion de gastos de porte produzca en lo sucesivo un aumento proporcionado, ó sea ocho veces mayor cantidad en el tráfico del pais.

Cuando las cargas que se han de conducir por un camino de hierro no han de ser iguales á la ida y á la vuelta, convendrá que la direccion de la parte adonde han de afluir las mercancías se halle sobre un plano inclinado; y como en el capítulo 3.° daremos las proporciones que mas convienen al declive que debe tener, nos contentaremos con observar aquí que las mas de las veces hay mucha ventaja en no llegar al parage en que se va á cargar sino por una larga subida; cosa que no puede verificarse en un canal que ha de estar todo á nivel. Las subidas y bajadas por planos inclinados se verifican mas pronto que por las esclusas, sin tener límite en punto á la variacion de nivel.

Pero la mayor ventaja de un camino de hierro consiste en poder transportar las mercancías mas pesadas con diligencia y certeza, pues aun cuando no fuese mas que la de poderlas conducir dos veces mas pronto que por agua se hallará en ello una ganancia muy considerable. Y si se atiende á que la construccion de los caminos de hierro no se halla todavia perfeccionada al paso que hace mas de un siglo que todos nuestros ingenieros se han dedicado con todas sus luces á mejorar la de los canales, desde luego se verá que podemos esperar muchos adelantamientos, y aun preveer sin temor de equivocarnos, que los caminos de hierro harán en lo sucesivo al público diez veces mas servicios que los mismos canales.

5.° *Caminos de carriles en Inglaterra.* El primer camino de esta especie fue construido en la inmediacion de Newcastle

sobre el rio Tyne por los años de 1680. Se reducia á trozos de madera sentados sobre tablones, cuales se ven algunos todavia cerca del Tyne, pero se abandonó generalmente la madera para este fin y se remplazó con el hierro. Una multitud de caminos se dirijen por ambos lados del rio hácia los diferentes sitios de aquellas minas de carbon con una infinidad de ramales, y todos son ya de este metal. Hay tambien varios planos inclinados por los cuales suben los carros mediante bombas de vapor fijas. Los carriles de hierro son de los llamados estrechos, y segun lo que se ha esperimentado pueden llevarse por un camino de esta especie cosa de 14 @ (170 kilog.) con una fuerza de 2 libras (1 kilog.), ó lo que es lo mismo, un caballo puede llevar un peso de unas 890 @ (11500 kilog) al paso de (4 kilomet.) mas de 4700 varas ó sea de ¼ de legua por hora.

Los caminos de hierro que sirven para llevar el carbon de estas minas hasta el rio Wear en Sunderland son de la misma especie, y algunos tienen cerca de tres leguas: los carros son como los de las minas de Newcastle.

Uno de los principales caminos de hierro es el de Hetton que tiene 7 millas inglesas (mas de 12⁹ metros). Una máquina loco-motriz de alta presion que la gente llama el *caballo de hierro*, es la que conduce de 13 á 17 carretones cargados de carbon, todos arreatados como se ve en la fig. 2.ª est. 1.ª Todo el tren de carros cargados podrá pesar sobre 5200 @ (65000 kilog.) y de vacío unas 1500 (18800) El desnivel total desde la mina á los sitios de descarga es de unas 300 varas (248 metros), una parte del cual se baja por planos inclinados, y lo restante por un declive suave y regular de cosa de 2 líneas por vara (3 milimetros por metro).

Las barras que forman los carriles son de la especie que llaman de borde, cuales se ven en las figs. 3, 4, 5 y 6. Su mayor longitud es de unas 51 pulgadas (119 centimetros) y el ancho de la cara de arriba de cosa de 2½ pulgadas (63 á 64 milim.). Para colocarlas se entallan los cabos de las unas en los de las otras. En los parages que el camino va de nivel, cada barrote pesa unas 54 libras (27,7 kilog.); pero habiéndose advertido que dichas barras parecian débiles para los puntos de curbatura se hacen de unas 64 (32,7 kilog.). En algunos parages contiguos á los puntos de descarga se ven trozos de camino hechos con hierro forjado, con las barras de los carriles de mas de 16 pies (4½ metr.) de largo sobre bases ó poyos apartados uno de otro, mas de 40 pulgadas (91 centimetr.) (*véanse las figuras* 9 y 19). Su grueso por el medio es de unas 4

pulgadas (89 mil.) y su ancho por arriba de 2¼ (57 mil.) El peso de cada vara de dichas barras, viene á ser de 1 @ (14 kilógr.).

Las ruedas de los carros que llevan el carbon tienen unas 38 pulgadas de diámetro (89 cent.) con 10 rayos; y pesan sobre 11 @ (140 kilog.). Los ejes tienen 3 pulgadas (6 mil.) y líneas de diámetro, y dan vuelta sobre anillos ó bujes fijos.

El peso de la máquina es de unas 640 @ (8000 kilog.) (*véase* la fig. 2.) Consta de una caldera de unas 50 pulgadas (12 decim.) de diámetro, con su hornillo dentro de ella. El humo escapa por un tubo de unas 5 varas (4 met.) de alto, siendo la parte de abajo de una chapa ó palastro mas grueso que la de arriba: tiene dos cilindros que trabajan alternativamente, y el diámetro de sus émbolos es de unas 10 pulgadas (228 mil.). Corren el espacio de unas 26 pulgadas (60 cent.) y dan 45 golpes dobles por minuto. El vapor pasa á los cilindros por medio de válbulas de corredera que mueven unas ruedas escéntricas colocadas sobre el eje del carro que lleva la máquina. La presion del vapor en la caldera es de 6 á 8 libras (3 á 4 kilog. por 1 décim.) ó cada 4 pulgadas en cuadro.

Las ruedas del carro de la máquina tienen unas 42 pulgadas (975 mil.) de diámetro con 12 rayos, y pesan sobre 15 @ (190 kilog.). El diámetro de los ejes es de 4 pulgadas (89 mil.) y estan sujetos uno con otro mediante una cadena sin fin que hace mover una rueda colocada sobre cada eje, de manera que ambos ejes dan uniformemente sus vueltas y con un movimiento igual. La caldera va sostenida sobre el carro por medio de 4 émbolos flotantes que hacen el efecto de muelles, igualando la presion egercida sobre las ruedas, y suavizando el traqueteo del carro. Cada émbolo flotante va guarnecido como el de una máquina de vapor, y lleva su tronco ó barra corta de 1½ pulgada (38 mil.) de diámetro, la cual se apoya sobre el anillo de cobre ó buje en que voltea el eje. El agua de la caldera oprime la cara superior del émbolo, y cualquiera que sea la elevacion ó posicion de la rueda, la presion sobre el émbolo es con corta diferencia la misma.

La idea ingeniosa de emplear estos émbolos en vez de muelles fue de los Señores Loch y Stephenson de Newcastle que obtuvieron por ellos su patente en 1816. Los demas pormenores se pueden ver en la esplicacion de la estampa. El carbon y agua necesarios para el servicio de la máquina van en un carrillo agregado al de la máquina y que sirve para alijarla. El tonel en que va el agua puede caber cosa de 10 @ (230 á 240 litr.)

y se va surtiendo ó rellenando con el agua caliente que se toma de las calderas que hay en varias paradas establecidas de distancia en distancia á lo largo del camino.

Todo el tren de carros es puesto en movimiento por una sola máquina, y marcha con una velocidad de legua por hora. Por lo que hace á las minas, como el gasto de combustible que consume una máquina es una friolera en comparacion del que cuestan las caballerías, es un método este verdaderamente económico. Asegúrase que las máquinas son reconocidas todas las semanas. El carro que las lleva puede ser dirigido muy fácilmente, y lo mismo sirve para arrastrar en pos de si todo el tren, que para empujarle hácia delante segun acomode. El movimiento del conjunto de carros es no menos curioso que admirable.

La inmensa ventaja que sacaban las minas de los condados de Durhan y Northumberland del establecimiento de caminos de carriles, aun de madera, movió bien pronto á imitarles á los de Whitehaven en el Cumberland, donde se multiplicaron muchísimo, pero al cabo el hierro colado fue remplazando á la madera por todas partes. De aqui se estendió el uso de dichos caminos á los condados de York y de Derby, al pais de Gales y á Escocia. Smeaton citaba por los años de 1779 un camino de carriles del condado de York para conducir el carbon á los rios navegables, como el primer establecimiento de esta especie que habia llegado á su noticia.

Camino de hierro del Condado de Surrey. Este empieza de la orilla meridional del Tamesis cerca de Wandsworth y tiene cerca de 18 millas inglesas hasta Merstham Su desnivel no llega á media pulgada (8 mil.) por vara en ninguna parte. Es de dobles carriles y de los planos que tienen mas de 4 pulgadas de ancho (1 decim.) por 25 mil. de grueso: el borde que sujeta las ruedas en el carril tiene mas de 3 pulgadas de alto (76 mil.), y su ancho media pulgada (12 mil.). Los carriles estan muy arañados por el frotamiento de las ruedas sobre la arena y barro que cae en ellos. El peso de los carros es de unos 20 quintales (1000 kilog.) y pueden llevar sus 240 @ (3 tonel.).

Cuando se estrenó la parte meridional en 1805, 12 carros cargados de piedra con el peso de mas de 3000 @ (38 tonel.) y conducidos por un solo caballo, anduvieron sin dificultad alguna 6 millas inglesas (9600 met.) en una hora y cuarenta y un minutos, subiendo una parte por cada 120. Segun los esperimentos de Palmer una fuerza de 2 libras (1 kilog.) debe

llevar 120 (60 kilog.) en la parte de camino que está á nivel á razon de 2½ millas inglesas por hora, ó un caballo 320 @ (mas de 4000 kilog.). En otro capítulo compararemos estos resultados: ahora baste saber que en este camino cada carro va tirado por su caballo.

Siendo, pues, este camino de Surrey uno de los pocos que se han tratado de establecer á beneficio general del comercio, merece que indaguemos las causas que pueden haberle impedido tener todo aquel éxito necesario para escitar á emprender otros del mismo género. Pueden achacarse en parte á la naturaleza misma del camino; porque el efecto que produce está muy distante de llegar al que se logra en los caminos de la primera especie, al paso que es tambien dispendioso, y los carros pesados y la carga poco considerable, ademas de que como los carros no salen de su carril, lo que obliga á cargar segunda vez los géneros transportados para que puedan llegar á su destino, resulta que las utilidades no equivalen al aumento de costos.

El destino de los caminos de hierro, bien asi como el de los canales, debe ser siempre el de conducir las mercancías ó producciones de un depósito á otro, pues su distribucion por menor debe verificarse luego por otros medios. Bajo de esta inteligencia es probable que cuando las distancias entre ambos puntos estan muy próximas no prueben bien como medios generales de comunicacion. Siempre que hay que llevar de un punto á otro una gran cantidad de efectos es mal cálculo repartirlos en pequeños cargamentos: vale mas servirse de carros grandes en que puedan cargarse el mayor número de arrobas de ellos. Entonces el enfardado carga y descarga, se hace con mas facilidad y se pierde menos de vista la hacienda. Nada impide construir un carro capaz de llevar una carga enorme poniéndole 6 ú 8 ruedas á fin de que el esfuerzo de cada rueda sobre el carril no sea mayor que lo que deba. Para el transporte de los minerales, como que no son cosas que se enfarden convienen mas bien los carros pequeños porque se descargan al momento. La fardería pesada y voluminosa se acomoda muy mal en carrillos asi, que á veces se llenan del todo sin hacer la carga correspondiente. Los carros para un camino de hierro destinado al comercio general deben ser lo mas grande que sea posible, y con montarlos sobre seis ruedas se escusa el que levante mucho la carga.

Las minas de carbon que se benefician cerca de Leeds y de Wakefield comunican con los canales por un gran número de caminos de hierro, y la misma ciudad de Leeds recibe su pro-

vision de carbon de las minas de Midleton por un camino de estos en que van tirados los carros por una máquina de vapor. Se diferencian los carros de los de Newcastle y Sunderland en que en vez de hacer depender la diminucion de velocidad del frotamiento de las ruedas del carro que lleva la máquina las barras que forman el suelo del carril tienen sus muescas en las cuales encajan los dientes de las ruedas que mueve la máquina y trabajan como ruedas dentadas. Esta especie de carro para la máquina fue ideado por Mr. Blenkinsop que hizo su ensaye en 1811. La caldera va en un carro de cuatro ruedas sin dientes y se apoya inmediatamente sobre los ejes: la máquina es de alta presion y con dos cilindros. Dos ruedas dentadas comunican el movimiento que reciben á las de los carros que encajan en las muescas del carril, mediante otra de dientes que está sobre el mismo eje. Una máquina de estas remolcando un tren de 30 carros de hornaguera, que pesaban entre todos unas 7900 á 8000 @ (90 tonel.) ha andado cerca de 3¼ millas inglesas ó 1½ legua por hora.

Cuando se emplea este sistema de ruedas dentadas, bien puede llevarse un tren de carros sobre un camino de hierro mas costanero que cuando se verifica la reaccion por solo el frotamiento de las ruedas sobre el carril, pero todo tiene su término, y aun con dientes y todo la inclinacion del camino no puede ser muy grande sin riesgo, pero en otro capítulo hablaremos de eso.

Camino de Dewsbury y Bristal. El objeto de este es el acarreo de carbones desde las minas de Bristal hasta los embarcaderos del Calder y el Hebble, tiene 3 millas inglesas y se concluyó en 1805.

Otros caminos. El canal llamado *Ashby de la Zouch* que se abrió en 1805 va á parar á un camino de hierro de 3¼ mill. que toca en las canteras de piedra calar de Ticknall en el Derbyshire, á otro de 5 millas que viene de las minas de carbon de Measham, y á otro de 6½ que sube á las canteras de piedra calar de Cloudshill.

El canal de Derby se comunica tambien con varios caminos de hierro que van á las minas de carbon de Horseley por una línea de 4 millas y á los molinos de Smalley por otra de 1¼.

Otros parten de los canales de Cronford y Erewash, con una subida de 200 y mas pies (56 met.), y otro de 2½ millas pone en contacto el canal del bosque de Charnwood con los barcos del rio Soar.

El camino de hierro que va de Chapel-Milton á Loads-Knowl tiene 6 millas de largo hasta las canteras de piedra calar. Sube por un plano inclinado de unas 202 (169 met.) varas de largo con un desnivel de 14 varas (62 met.). Le hizo el ingeniero Benj. Outram.

El canal de Lancaster tiene un camino de hierro que atraviesa el valle de la Ribble hasta lo alto del lado opuesto por espacio de 3¼ millas. En cada banda del valle corre por un plano inclinado cuya diferencia de nivel es de 240 pies (67 metros).

Otro camino de hierro parte del rio Wye, y va á Lydney sobre el Saverne con un ramal á Monmouth. Y otro de 5 millas va desde el Saverne á las minas de carbon.

Las ventajas particulares de los caminos de hierro en las grandes variaciones de nivel no se echan de ver en ninguna parte tan bien como en los planos inclinados del canal del Shropshire. Debiendo atravesar este canal un pais en que las diferencias de nivel eran grandes y repentinas, se juzgó conveniente valerse de planos inclinados para transportar los barcos de un nivel á otro. El primer plano tiene unas 379 varas (317 met.) de largo para una altura perpendicular de 75 varas (63 met.). Colocóse en este un camino de hierro de doble carril y muy fuerte sobre el cual se plantan los barcos con toda su carga de unas 450 @ (5 tonel.) montados en sus carros al intento. El segundo plano tiene unas 654 varas (547 met.) con un desnivel de 46 (38 met.). El tercero tiene unas 354 varas (297 met.) de largo con un desnivel de 43 (36 met.). Todos ellos han sido ejecutados por los planes de M. W. Reynolds que desde el año 1788 habia hecho un plano inclinado para transportar barcos de mas de 700 @ (8 tonel.) de peso en un parage en que el desnivel era de unas 27 varas (22 met.).

En Cornwall se ha construido un camino de hierro de 5 millas de largo que va desde la ensenada de Portreth á las minas de cerca de Redruth.

Y por último se ha hecho otro de unas 32 millas de largo desde Stockton por Darlington á las minas de hornaguera del Condado de Durham, con diferentes ramales de á 2, de 3 y de 5 millas hácia otras minas. Este es de los de carriles estrechos, y para máquinas loco-motrizes. Tales ejemplos casi bastarian para dar una idea de este modo de acarreo que cada dia va estando mas en voga.

Caminos de hierro del pais de Gales. Son innumerables los caminos de hierro que en este pais van desde las minas

de hornaguera á las grandes fundiciones y á los canales y rios, habiendo demostrado la esperiencia ser muy ventajosos asi para los empresarios como para el público. Los principales se enlazan con otros caminos particulares y mas pequeños que llaman *tram-roads*, los cuales facilitan mucho el comercio en un pais quebrado como este, y en que los caminos ordinarios son tambien malísimos. Apenas habia uno de hierro por los años de 1791 en la parte meridional de Gales, y en 1811 pasaban ya de 150 millas, sin contar los de las minas, de los cuales una sola compañía, cuál la de Merthyr-Tidvil tiene ya cosa de 30 millas.

Como en la parte alta del canal de Cardiff en el Glamorgan se padece escasez de agua con mucha frecuencia se ha construido un camino de hierro de unas 9 millas paralelo á dicho canal, que sirve principalmente para las fundiciones de Plymouth, de Pendarran y Dowlais.

El acta del parlamento que autorizó la construccion de este camino es del año 1794 á favor de los Señores Hompray, Hill y compañía y parece que fue la primera concesion de un camino de esta naturaleza. El total largo de la línea es el de 26¼ millas. Toda especie de comunicacion era difícil en un pais escabroso como este, pero con los caminos de hierro se superan los terrenos ásperos algo mejor que con los canales.

En este camino fue donde se probó en 21 de febrero de 1804 la máquina de alta presion para llevar los carros que inventó Mr. Trevithick; pero el mismo género de máquinas se ha empleado con mejor éxito por Mr. Bleukinsop y otros sujetos.

El canal de Aberdare que es un ramal del de Cardiff comunica con el de Neath por caminos de hierro terminados por un inmenso plano inclinado en que van tirados los carros por máquinas de alta presion.

El de Sirhoway rompe del canal de Monmouth en Pillgwelly, atraviesa el parque de Tredegar y luego el rio de Ebwy en Risca sobre un puente de 16 arcos, y despues de seguir el curso del rio Sirhoway se dirige á las fundiciones de Tredegar y Sirhoway, y á las canteras calizas de Trevil, lo que compone una línea de 28 millas. Este camino de hierro va acompañado en toda su longitud de una gran carretera de las comunes que se mantiene en muy buen estado. Tiene varios ramales tambien que van á las minas de hornaguera, otro que va á las fundiciones de Romney, y otros al canal del condado de Monmouth. Un caballo solo basta para bajar por este camino de

hierro con unas 800 @ (1092 kilog.), y para hacer luego subir los carros que llevan esta carga. El acta de concesion es de 1801.

El de Brinore empieza tambien del de Sirhoway y sigue hasta el valle de Uske pasando por Black-mountain, y de alli á Haye. A esta comunicacion se debió la gran baja del precio del carbon en los condados de Radner y Horeford.

El de Blaen-Avon va á parar igualmente al canal de Monmouth. Su largo es de 5½ millas y su desnivel de 663 pies (185 met.) desde su origen hasta el horno de Blaen-Avon.

El del condado de Caermarthen empieza en la bahia de Llanelly y corre unas 15 millas por medio de un pais abundantísimo de carbon, hasta los hornos de cal de Llandebie. De su banda oriental salen ramales hácia las minas de carbon del general Waide. Su objeto principal es el acarreo de carbones, de hierro, plomo y demas. Se empezó por acta del parlamento de 1801. Segun los esperimentos de Palmer parece que en la parte de este camino que está á nivel, una fuerza de una libra no puede poner en movimiento mas que 59 libras, ó que un caballo solo puede tirar de unas 312 @ (3900 kilog.).

El de Oyster Mouth se estiende por espacio de 7 millas á lo largo de la costa desde Swansea hasta dicho pueblo. Sirve principalmente para el acarreo de piedra de cal, y fecha de 1803. Varios otros de la misma especie comunican desde las minas de hornaguera inmediatas en el canal de Swausea.

El de Abergavenny principia de junto el canal de Brecknock y pasa sobre un puente antes de llegar á aquel pueblo. Un ramal sale del mismo canal para Uske y Haye, y otros varios para las minas de hierro y carbon. Hácia las fábricas de hierro de Pontypool hay varios planos inclinados con un desnivel muy notable.

El de Ruabon-Brook empieza de junto á un gran estanque que hay á orilla del Dée. Es de doble carril, y sube por una cuesta suave hasta mas allá de las fundiciones de Mr. Hazledine, pasa por cerca de una multitud de minas de carbon y llega á Ruabon B. despues de correr unas 3 millas.

No citaré ya mas que otro camino de hierro del pais de Gales y sea el que sirve para la conduccion de pizarras de las canteras de Penrhyn, por diferenciarse de todos los demas de Gales que son casi sin escepcion de la especie llamada *tram-roads* ó de carriles planos.

El de Penrhyn tiene 6½ millas desde las canteras de pi-

zarra hasta el puerto. Se compone de 5 paradas, y su desnivel es de una parte sobre 96: tiene 3 planos inclinados. Se empezó en Octubre de 1800, y se concluyó en Julio de 1801. Los barrotes de que está hecho son de forma elíptica de hierro colado y apartados mas 26 pulgadas (60 á 61 cent.). La longitud de las barras es de unas 59 pulgadas (136 cent.). Dos caballos bastan para correr seis veces al dia en cada parada arrastrando 24 carretones, cada uno de los cuales carga una tonelada, lo que hacen en los 6 viages 144 toneladas al dia. Las ruedas son de hierro colado: tienen unas 16 pulgadas (35 á 36 cent.) de diámetro y pesan cosa de 30 libras (15 á 16 kilog.). Segun los esperimentos de Palmer se necesita una fuerza de una libra para tirar de 87 libras sobre este carril en los parages que está á nivel, cuando en los de Newcastle se tira doble con la misma fuerza. Esta diferencia proviene de la pequeñez de las ruedas del de Penrhyn, pero por defectuoso que sea, les es utilísimo el tal camino á los dueños de las canteras ahorrándoles inmensos gastos en caballos y demas. Los carrillos son muy bajos, y asi parece que les conviene para conducir su pizarra. En realidad mas bien son narrias que carros.

Caminos de hierro de Escocia. No hay todavia en Escocia grandes caminos de hierro, aunque se han proyectado magníficos; pero sí hay muchos en las principales minas de hornaguera y otras faenas que se hacen á cortas distancias. El mas largo es el que va de Kilmarnock á la abra de Troon, que tiene 10 millas.

Hízose este á costa del Duque de Portland, dueño de las minas del pais. Es de los llamados *tram roads* ó de carriles planos, y se cree que le dirijiese Mr. Jessop que tenia una particular aficion á este género de caminos. Su principal uso es para la conduccion de hornaguera y de cal, de que abastece al comercio inmensas cantidades. Los carros de Kilmarnock son de 86 pulgadas (12 met.) de largo, 49 de ancho (113 cent.) y 32 de alto (76 cent.). Cada uno lleva 42 fanegas del pais de carbon que equivalen á mas de 120 @ (1500 kil.) de carbon seco y 136 de lo húmedo (1700 kilog.). El peso de cada carro vacio es de 53 @ (660 kilog.). Algunos caballos bajan con dos carros cargados y otros con tres, pero los carros de este camino no son iguales, y aun se permite meter en el carril á los carros ordinarios del pais con tal que sus ruedas sean cilíndricas, y no lleven mas de 112 @ (1400 kilog.) por cada par de ruedas.

El de la mina de hornaguera de Alloa tiene 2½ millas de largo. Cada carro lleva una tonelada de carbon, y cada caballo tira de 8 carros á la vez: los carriles son de hierro colado. En otros parages de Escocia en que se benefician minas de carbon se han construido caminos de hierro la mayor parte de los de aquella especie cuyos carros tienen las ruedas con bordes para que no se salgan del carril. Los últimos que se han hecho son por lo general de hierro forjado. Segun Mr. Stevenson, el uso de los caminos de hierro para el servicio de las fundiciones de Carron ha rebajado el gasto medio de cada mes en el ramo de conducciones de 1200 libras esterlinas hasta 300 ó sea de unos 120ª reales á 30ª.

Con lo dicho tenemos suficiente para formarnos una idea de la economía de los caminos de hierro y nos hallamos ya en cierto modo preparados para entrar un poco mas adentro á examinar los pormenores de este sistema, inglés neto, de construccion de caminos.

CAPITULO II.

De las varias especies de caminos de hierro y comparacion de sus ventajas.

Conócense únicamente tres especies de caminos con carriles. El modo mas antiguo de hacerlos y mas generalmente usado se reduce á formar con barrotes de madera y mejor de hierro, las líneas sobre que han de correr las ruedas de los carros. Estas se construyen con un borde doble, ó que corre por ambos lados y forma el hueco en que se encaja el barrote para sostenerse en el camino. Se distingue en el dia este género de camino por el nombre de *carriles estrechos* á causa de ser estrechos y muy gruesos los barrotes de hierro que lo forman.

La segunda especie se diferencia de la primera en que dichos bordes ó resaltos de las ruedas en vez de ponerse en ellas se colocan en un lado de los barrotes que forman las líneas del camino. Estos segundos caminos tienen la ventaja de poder servir para los carros ordinarios que andan por las carreteras, y son los que llaman *tram-roads* en Inglaterra, ó de carriles planos.

El tercer método se reduce á una sola línea de carril para carros de dos ruedas, los cuales van suspendidos del carril que se pone para eso levantado lo preciso sobre la superficie

del suelo. Este método es nuevo y ofrece muchas ventajas; mas luego haremos sobre él algunas observaciones.

1°. *Caminos de carriles estrechos.* Estos se hicieron al principio de madera para la conduccion de carbones desde las minas de Newcastle hasta el rio Tyne, cubriéndoles á trechos con una chapa de hierro en aquellos trozos que estaban mas espuestos á rozarse y romperse. Como luego adoptaron el hierro colado en lugar de la madera, conservaron en dicho pais el mismo género de ruedas y la misma forma de barrotes, con la única diferencia de construccion que exigia la nueva clase de material. Las figs. 3, 4 y 5 manifiestan el perfil, plano y corte transversal de una pieza de fundicion de la forma de las que se usan para los caminos mejores que hay sobre las márgenes del Tyne y del Wear. Los carros ruedan sobre el canto redondeado del barrote que es lo mas igual, liso y terso que se puede fundir. La longitud regular de los barrotes es de tres pies ingleses, pero tambien las hacen de cuatro. Su grueso por el medio es de unas 5 pulgadas castellanas (114 milim.) y el ancho del borde cosa de 2 ½ (50 mil.) Los estremos de los barrotes se reunen en una pieza de hierro colado que se llama el *asiento* (*véase* la fig. 6.), la cual se fija en unos sillares de piedra cuya base sea muy ancha y que pesen de 6 á 8 @ (75 á 100 kilog.). Estos sillares se sientan con mucha solidez en tierra, segun y como requiera la forma del camino, antes de colocar la pieza de *asiento*, pues la perfeccion del camino depende principalmente de la solidez con que estos sillares se ponen. En el pais de Gales se ha variado un poco la forma de las barras para esta especie de camino, pues las del de Penrhyn eran al principio de figura oval, y habiendo echado de ver que ahondaban muy pronto el borde de las ruedas ajustándose luego tanto con ellas que ocasionaban mucho rudimiento, las han hecho de la forma que representa la seccion de la fig. 7. Los travesaños que las unen se han hecho tambien de hierro colado con sus escopleaduras á cola de milano para recibir los cabos de las barras. Cada una de estas tiene cerca de 5 pies castellanos (137 cent.). Las dos líneas de barras estan apartadas una de otra unas 26 pulgadas (60 cent.). El peso de cada barra es de unas 32 libras (16 kilog.): el de los travesaños de 12 á 14 (6 á 7 kilog.) y cada carro lleva una tonelada de carga.

La forma de estas barras es muy inferior á las que se usan en Newcastle. El volteo que las dan en medio del grueso á las del camino de Penrhyn pone la mayor porcion de hierro

en la parte del espesor en que presenta menos resistencia. El modo de unir las dos líneas de barras por travesaños de hierro colado seria quizas útil en otros casos, pero creemos no sea tan bueno como el que se consigue por las piezas de *asiento* de hierro colado.

Hemos dicho que en algunas partes se habia empleado el hierro forjado para asegurar los carriles de madera. Tambien hizo Mr. Grieve los carriles mismos de hierro ductil en las minas de hornaguera de cerca de Edimburgo, pero eran de un cuadradillo de $1\frac{1}{2}$ pulgadas escasas, (31 á 32 mil.) para acarreos de poca consideracion. Mas fuertes los hizo Mr. Neilson para el camino de $2\frac{1}{2}$ millas que viene de las minas y caleros del Conde de Glasgow, pues cada barra tiene 9 pies (2,74 met.). y estan apoyadas de 3 en 3 pies; tienen unas $2\frac{1}{2}$ pulgadas (52 mil.) de grueso y cerca de uno (19 mil.) de ancho, cargando los carros 144 @ (1800 kilog.) de peso.

Es claro que unas barras rectangulares de hierro forjado deben presentar una superficie demasiado estrecha á las ruedas de un carro á menos de no querer poner en ellas mas metal que lo que dicta la economía. Para evitar este inconveniente inventó Mr. Birkinshaw las que demuestra la fig. 11 que es una barra de canto. La invencion se reduce á darla una forma de prisma triangular ú otra semejante que llene el objeto. El quiere que sean de 18 pies ingleses ($5\frac{1}{2}$ met.) de largo; pero el consejo que da de soldarlas por las puntas seria mas perjudicial que útil á causa de lo que alarga el metal con el aumento del calor. La forma que ponemos en la fig. 19 seria sin duda mucho mejor.

La principal ventaja del hierro ductil para la construccion de caminos es de que con el se pueden disminuir tanto número de junturas como llevan: asi es que la dificultad de dejar las barras perfectamente iguales y llanas en el punto de su union es lo que ha contribuido mucho á introducir su uso.

Los caminos de carriles estrechos convienen particularmente para todo lo que sea trabajos permanentes. Su construccion no permite andar por ellos á los carros comunes, y esto realmente es un bien, porque el carromato que entra en los otros no compensa con lo que da á ganar, el daño que hace en la superficie del metal. Por lo mismo se conservan tambien en buen estado mas fácilmente que los otros.

Es de la mayor importancia en todo camino de hierro, el que la superficie de las barras sea perfectamente lisa y llana. Ese es el objeto primero que se tuvo en hacer los carriles de

madera y de metal, pero mal se podria conseguir si entrasen los carromatos y galeras en ellos con sus ruedas llenas de lodo y arena. Los carreteros sus tentaciones tendrán al ver que la fuerza de un hombre puede llevar por uno de hierro mas carga que una mula por el camino real, pero es indispensable evitarlo.

2°. *Caminos de carriles planos.* Las piezas que sirven para estos siempre se han hecho de hierro colado, porque aunque es verdad que algunos emplean tablones para un servicio semejante, estos no son propiamente caminos de carriles. De todos modos los carriles planos son los mas apropósito que imaginarse puede para un servicio temporal, y tal cual se demuestra en la fig. 18 que es su forma regular, sirven grandemente en las minas, canteras etc., y tambien para la construccion de los caminos y canales, acarreo de piedras sillares, vigas y otros mil objetos.

Las barras de estos carriles son de una forma bastante débil respecto á la cantidad de hierro que entra en ellas y asi en algunas partes se les refuerza añadiendo otra tira de hierro por debajo como se ve en la fig. 19. Asi se reparan en el de Surrey, y es el mejor modo que puede adoptarse para que resistan.

Siendo, pues, los carriles planos los mas ventajosos para caminos que han de durar solo un tiempo determinado, es muy del caso conocer el medio mas conveniente y espedito de colocarlos. El que usan comunmente se reduce á fijarlos con clavos ó pernios sobre unos durmientes ó maderos atravesados, pero el gran inconveniente de este método es la dificultad de clavarlos y arrancar los clavos cuando hay que mudar el camino. Si el camino ha de ser permanente se aseguran regularmente los carriles con clavos grueses en unos trozos cuadrados de madera que se encajan de antemano en los sillares que han de sostenerlo; pero el mejor modo de ponerlos es el de Mr. Le Caan porque al menos permite quitarlos y ponerlos con facilidad. Le describiremos, aunque no le aprobamos del todo, porque quizás sugerirá á alguno otra idea mejor.

Sus carriles estan hechos de modo que se fijan unos sobre otros sin necesidad de clavarlos. La fig. 21 manifiesta el corte longitudinal de dos piezas de carril sentadas sobre los sillares C. D. E. y la figura 20 el plano. Las piezas se ensamblan á cola de milano. Cada pieza de carril lleva un espigon oblicuo que se encaja en el sillar; y para poderse le-

vantar cuando se quiera ó haya algo que componer, de 32 en 32 varas (27 en 27 met.) hay un carril cuyo espigon es perpendicular, como el que se ve en el sillar C. La fig. 22 manifiesta el estremo de un carril segun ajusta en la escopleadura del otro con su espigon perpendicular. El diámetro del espigon por la base es de cerca de 2 pulgadas (44 mil.) y de 1 (25 mil.) por la punta. Tendrá cerca de 3 pulgadas (63 mil.) de largo y 8 grados de inclinacion. Se hace en él una muesca que sale á la parte de arriba para que cuando entre agua en el agujero pueda dilatarse, si hiela, y sirve tambien para introducir un alambre ó gancho con que sacar el pedazo que queda dentro cuando se quiebra.

La fig. 22 representa un estremo de carril: H. es el borde ó resalto, I. la parte plana sobre que rueda el carro, D. un espigon recto y K. una parte saliente á la inversa para sentar mas sólidamente los carriles sobre los sillares. La longitud regular de estos carriles de fundicion es de una vara á 38 pulgadas (91 cent.), el borde H. es de 1½ pulgada (38 mil.), la parte plana del carril cosa de 4 pulgadas (88 á 100 mil.) de ancho, y uno (19 mil.) de grueso, pero todas estas dimensiones varian segun las circunstancias. El peso regular de cada barra ó pieza de carril es de unas 40 libras (20 kilog). Los estremos de que salen los espigones y en que van las escopleaduras y colas de las piezas que siguen, deberian tener ¼ de pulgada (6 á 7 mil.) de mas espesor que lo restante del carril. El peso de los sillares no debe bajar de 4 á 5 @ (50 á 55 kilog.). En algunos terrenos conviene que sean mas pesados.

De esta manera las ruedas no encuentran tropiezo alguno en las cabezas de los clavos que se aflojan y sobresalen á veces del nivel de los carriles, ni los sillares tampoco se mueven para fijar las piezas de hierro colado, y cuando hay que componer alguna pieza, 26 ó 27 varas (22 á 23 met.) de carril se levantan con mucha facilidad y se vuelven á colocar en cosa de 10 minutos. La calidad de la ensambladura hace muy difícil el que las piezas se aparten de la línea recta, y para aquellos sitios en que las líneas deban tener alguna curvatura se hacen las piezas espresamente asi.

Mucho gustan de los carriles planos en el pais de Gales, donde su uso requiere que la presion sobre el camino se reparta lo mas que sea posible. Por lo mismo hacen tambien los carros pequeños, tanto que no llevan la mitad de lo que pudieran con la misma fuerza; pero séase de esto lo que se quiera, el increible número de caminos de hierro que se van cons-

truyendo en este principado, prueba que hallan un beneficio real y verdadero en este medio de conduccion.

3°. *Caminos de un solo carril.* Esta idea nueva é ingeniosa se debe á Mr. Palmer. El carro va sobre un solo carril ó línea de barras de hierro levantada del suelo poco mas de 1 vara (91 cent.) sobre pilares colocados á distancias iguales, de unos 3 metros. El carro se reduce á dos cajones colgados á ambos lados del carril mediante un juego ó armadura de hierro que lleva dos ruedas de unas 30 pulgadas de diámetro. Los cantos de las ruedas son cóncavos y ciñen justamente el borde convexo de las barras que forman el camino, y como el centro de gravedad del carro bien sea que este cargado ó vacío, se halla colocado tan alto sobre el borde superior del carril, los cajones siempre guardan equilibrio por desigual que sea la carga, teniendo el carril que les sirve como de quicio unas 4 pulgadas (100 mil.) de ancho.

Las ventajas de este método son hacer menos considerable que en los de carriles estrechos el rozamiento lateral; libertan mejor el carril del fango, polvo ú arenas que suelen entorpecer la marcha de los carros, y cuando el terreno es desigual y hace sus hondonadas, poder ejecutar el camino sin necesidad de tantas escavaciones para nivelarlo. En caso de servirse de caballos, es necesario poner una cuerda de sirga que les deje tirar fácilmente sin que el ángulo de tiro pueda variar mucho: por lo demas el peso de la cuerda ayuda á regularizar los movimientos de las caballerías, sirviendo á modo de resorte.

Creemos que esta especie de camino parecerá muy superior á todos los demas para todo lo que requiera prontitud y ligereza, como son los correos y postas y toda clase de carruage de servicio ligero. Para eso debe estar algo elevado sobre el suelo, pues un carruage que va sobre un carril con una velocidad de mas de 6 millas por hora no debe esponerse á volcar ó tropezar con otros en su carrera. Ni tampoco se para de repente, ni se hace mudar de direccion viniendo con tal rapidez sobre una superficie tersa, por lo cual levantando estos caminos cosa de 3 metros se libertarian de todo accidente, á menos de irse durmiendo. Los viageros apenas irian mas altos que los que van en la imperial de una diligencia y el carruage nunca volcaria. Un camino de estos está mas libre de interrupciones que ningun otro, y á muy poca costa puede lograrse la fuerza suficiente para correr con toda la velocidad que se necesite segun el objeto que uno se proponga, como diremos despues en el capítulo 4°. Puede suspenderse

tambien un carruage entre dos líneas de barras levantadas á cierta altura del suelo, y aun convendria ciertamente por algunas consideraciones, pero entonces saldria mucho mas costoso, y ademas dificil por la precision de tener que sentar los dos carriles con mucha solidez y á una distancia igual exactísima en toda su longitud. Lo de ir el carro separado en dos partes ó cajones, lejos de traer ningun inconveniente debe considerarse como muy ventajoso.

CAPITULO III.

De las resistencias y proporciones de las máquinas locomotrices.

Las circunstancias que influyen sobre el movimiento de los carros en un camino de hierro son tantas y tales que es indispensable hacer algunas divisiones en el exámen de este punto, y detenerse únicamente en las de mas importancia como la resistencia del peso de las ruedas, la de la superficie del carril y la de los ejes, para compararlas despues y deducir de ello las reglas de práctica mas convenientes.

1°. *Resistencia en razon del peso de las ruedas.* Si una rueda es mantenida en reposo sobre un plano inclinado por una fuerza P (fig. 35) que tira en la direccion de P. C. es de demostracion segun principios de mecánica que el peso de la rueda es á la fuerza que la retiene como AB es á BD.

Pero se necesita una fuerza mayor que la que resulta de esta proporcion para hacer subir la rueda sobre este plano con una velocidad uniforme, aun cuando se suponga perfectamente duro y pulimentado. En efecto, si la fuerza motriz estuviese sujeta al centro de la rueda, su velocidad seria necesariamente la misma que la de este centro; pero las cantidades de movimientos en la rueda y la fuerza motriz deben ser iguales, y como cada punto de la rueda, esceptuando el del centro, describe una línea mas larga, es evidente que se mueve con mas velocidad que la fuerza, y que por consiguiente se necesita un acrecentamiento de fuerza motriz. Valuemos la cantidad de ella.

Cada uno de los puntos de la circunferencia de una rueda describe una curba que los geómetras llaman *cycloide*, y dando por sentado que las longitudes de las curbas descritas por los puntos intermedios, entre la circunferencia y el centro, decrezcan en razon de su distancia de la circunferencia, la

longitud de la cycloide siendo igual á cuatro veces el diámetro del círculo que la engendra, tendremos que la velocidad media de la materia de la rueda, suponiendo que sea un cilindro sólido, será representada por $\frac{4+3,14}{2} = 3,57$ siendo la velocidad del eje 3,14. Luego la potencia necesaria para tener la rueda en movimiento es á la que haria mover igual cantidad de materia reunida al eje de la rueda como 1,13 es á 1, esto es, un poco mas de $\frac{1}{8}$. En las ruedas hay una proporcion mayor de materia reunida hácia la circunferencia, pero calculando por la valuacion anterior, parece que en ningun caso debe añadirse mas de $\frac{1}{5}$ al peso de las ruedas para tener una masa equivalente á la que debe suponerse reunida en el centro de ellas.

Las mismas consecuencias hallamos en cuanto á las ruedas que se mueven sobre un plano horizontal, sean las que se fueren sus dimensiones y naturaleza.

Esperiencia 1ª. Nos propusimos verificar la fuerza necesaria para hacer dar vueltas á unas ruedas de fundicion sobre un camino á nivel formado con barras de hierro forjado, y para ello colocamos las ruedas en un eje, en medio del cual habia un cilindro de menos de $1\frac{1}{2}$ pulgadas (30 mil.) de diámetro sobre el cual se recogia un hilo fino y flexible, que pasado por una polcita quedaba, estirado paralelamente al camino mediante un peso colgado á la punta. Las dos ruedas tenian cosa de $3\frac{1}{4}$ pulgadas (100 mil.) su peso juntamente con el eje era de 53 onzas (1486 gram.): y poniendo solo 192 granos (12 gram.) rodaban fácilmente sobre las barras. Es de advertir que antes se habia verificado por otra esperiencia el rozamiento de la polea, y toda la fuerza era equivalente á 250 granos (16 gram.) que tiraban á nivel del eje, de que resultó que la fuerza motriz que obraba en este sentido era la 93.ª parte del peso.

Esperiencia 2.ª El peso de otro par de ruedas de unas $8\frac{1}{2}$ pulgadas (200 mil.) de diámetro juntamente con su eje era de 119 onzas (3341 gram.), y un peso de 250 granos (16 gram.) (hecha deduccion del rozamiento de la polea) la hacia rodar fácilmente. Este peso es igual á 288 granos (1815 gram.) aplicados al eje, lo que es decir que la fuerza motriz obrando al nivel del eje era $\frac{1}{181}$ de su peso (1).

(1) Es muy notable la semejanza que tiene con este esperimento el aparejo citado por Vitruvio, lib. 10. cap. 6., é inventado por Paconio para trans-

Segun esto vemos que la relacion de la fuerza motriz al peso de la rueda está en razon inversa del diámetro de esta, pues en estas dos esperiencias los diámetros de las ruedas eran como 2 : 1, y $\frac{1}{93} : \frac{1}{181}$ son con corta diferencia como 2 : 1.

Parece, pues, que segun dichas esperiencias el efecto de las ruedas grandes en cuanto al retardo que ocasionan, no puede influir sino muy poco sobre el movimiento de los carruages, y que ademas puede considerarse el peso de las ruedas como parte de la carga que pesa sobre los ejes, lo que simplifica mucho todas las indagaciones sobre el movimiento de los carruages, sin inducir á error alguno de momento en la práctica.

2.° *Resistencia en la superficie de los carriles.* Sucede frecuentemente que la mayor resistencia en el carril resulta del frotamiento lateral de los bordes que forman el carril, bien se hallen estos en las ruedas, ó bien en las barras rectas de que se compone el camino. Débese procurar siempre que las ruedas sigan su direccion, sin necesidad de ir rozando contínuamente con el borde del carril para mantenerse en ella.

Este fin se consigue muy bien por los carros cuyas ruedas forman los bordes que se encajan en las barras de los caminos de carriles estrechos, haciendo el borde de las ruedas levemente cónico ó mas bien con la curvatura que se ve en la fig. 24. El carro caerá entonces por sí mismo en la propia y conveniente posicion que debe llevar sobre el carril, si es que por algun tropiezo se hubiese apartado de ella.

En los caminos de carriles planos en que las barras tienen el resalto que sirve para sujetar las ruedas al carril, podria ser la forma de las barras la misma que acabamos de indicar para los bordes de las ruedas de carriles estrechos, lo cual inclinaria siempre las ruedas á separarse del borde, pues en estos aumenta muchísimo la resistencia cuando las ruedas rozan contra los bordes.

Los caminos de hierro á la Palmer estan muy poco espuestos á este roce lateral. La forma que propone para el borde superior de sus barras, es la de un segmento de círculo aplastado: el canto ó llanta de las ruedas debe ser cóncavo y presentan con corta diferencia la misma curvatura. No podia en nuestro concepto haber escogido forma mejor y mas apropósito para evitar los rozamientos.

Las materias estrañas accidentalmente pegadas á la superfi-

portar la base colosal de una estátua de Apolo fuera de la cantera. Con un caminito de hierro Paconio hubiera mantenido su máquina sin la menor dificultad en la direccion conveniente.

cie de las barras, y tambien alguna que otra desigualdad en las junturas de ellas pueden á veces ocasionar otra especie de resistencia, mas el efecto de esto será parecido al de las piedrezuelas ó estorbos que se encuentran en una carretera, y por eso las ruedas grandes son mas ventajosas que las pequeñas.

Si suponemos que sea R el rayo de la rueda y x la altura del obstáculo, P la fuerza motriz y w el peso de la carga sobre el eje, entonces R—x sera la longitud de la palanca con que la potencia obra para obligar á la rueda á superar el obstáculo y $\sqrt{2R-x^2}$ será igual á la longitud de la palanca con que la carga obra para resistir á la fuerza motriz, por consiguiente

$$\frac{w\sqrt{2Rx-x^2}}{R-x} = P.$$

Parece, pues, que la fuerza necesaria para elevar una rueda sobre un obstáculo de una altura determinada está casi en razon inversa de la raiz cuadrada del rayo de la rueda, y que una rueda de 4 pies de diámetro no necesitará para superar un obstáculo mas que la mitad de la fuerza que necesitaria otra de un pie.

Cuando las ruedas y barras sobre que se mueven estan proporcionadas de tal manera que la presion no cause alteracion alguna permanente sobre la superficie de unas ú otras, entonces la resistencia que resulta de la presion de estas superficies en el momento de su contacto se halla casi enteramente equilibrada por la elasticidad de las superficies que se separan, y no puede perderse sino poquísima fuerza; pero en el caso de una alteracion permanente en las superficies, ó cuando el polvo ú otra materia pegada á la rueda se halla en contacto con las barras, entonces la resistencia es muy grande.

Podemos en uno y otro caso, atendida la pequeñez de x reducir la ecuacion anterior á $\frac{w\sqrt{2Rx}}{2} = P$. Pero x debe ser directamente proporcional á w, y con corta diferencia en razon inversa del radio luego tendremos

$$x = \frac{w}{R} \text{ y } \frac{w\sqrt{2w}}{R} = P \text{ ó } \frac{w^{\frac{3}{2}}}{R} = P.$$

Parece, pues, que si se halla en la superficie del cami-

no una resistencia proviniente de una de las causas que acabamos de indicar, aumenta en una proporcion mayor que la del aumento de la carga, es decir como la raiz cuadrada del cubo del peso. Y como es casi inevitable hallar siempre una resistencia de esta naturaleza en los caminos de carriles planos, es evidente que para acertar debe seguirse en la práctica el principio que dicta el repartir la presion todo lo mas que sea posible en esta especie de caminos. Las ruedas grandes en este caso serán tambien muy ventajosas, porque la fuerza necesaria para vencer la resistencia estará siempre en razon inversa del radio de la rueda.

La resistencia que causa el polvo es mayor que lo que parece. Mr. Palmer hizo para averiguarla una esperiencia en el camino de carriles planos de Cheltenhan, de la cual resulta que se necesitan 19½ por 100 de aumento de fuerza para arrastrar los mismos carros cuando el carril está cubierto de polvo, mas que cuando se halla limpio.

El polvo y barro no se pegan á los carriles estrechos con tanta facilidad como á los planos, mas cuando tal sucede en los que se gastan carrillos de ruedas pequeñas es tanto lo que retarda el andar que los celadores de dichos caminos tienen buen cuidado en llevar agua para regar y limpiar el camino antes de pasar todo el tren de carros. Esto es lo que sucede, segun notó Palmer, en el camino de hierro que va á las pizarreras de Penrhyn. En otros en que las ruedas son mayores y las barras que forman los dos carriles estan mas apartadas no hay que andar con estos riegos y limpiezas.

Debe parecer evidente que séase la que se fuese la cantidad de resistencia á la superficie de los carriles y bordes, es de tal naturaleza que no es fácil sujetarla á cálculo. Depende en la mayor parte del modo que está ejecutado el camino y tambien mucho del estado en que se procura conservar. Solo hemos querido hacer ver aqui qué circunstancias pueden contribuir á la diminucion de esta resistencia.

3.° *Resistencia en los ejes de los carros.* Hemos dejado para la última esta parte de la resistencia que gasta en los caminos de hierro lo mas de la fuerza motriz. Esta es materia que seria imposible tratarla como se debe sin el auxilio de la esperiencia y del raciocinio matemático, pero reuniremos en párrafos aparte las investigaciones matemáticas para que las pase por alto quien no sepa apreciarlas.

La presion sobre las partes que tienen rozamiento en el eje de un carro es proporcional al peso del cuerpo del car-

no, y á la carga añadida al esfuerzo de la potencia que le pone en movimiento. Esta presion se ejerce en la direccion de la resultante de estas fuerzas. Pero el esfuerzo que produce un rozamiento sobre el eje puede considerarse como si estuviera en una direccion vertical, é igual al peso del carro y de su carga reunidos, pues no será error sensible en la práctica el despreciar la parte correspondiente á la potencia que supera el rozamiento.

Se ha visto por esperiencia que el rozamiento de los cuerpos que se emplean como ejes, y el de sus puntos de apoyo era casi proporcional á la presion en igualdad de circunstancias. La presion sobre el camino mismo será siempre mayor que la que se ejercerá sobre el eje, á causa del esfuerzo que proviene del peso de las ruedas, y por lo mismo si el carril no es mas terso que la superficie del eje, la rueda no podrá correr sobre el.

Pero el centro del movimiento está en C fig. 34 centro del eje: supongamos que CB sea la direccion de la fuerza, y EA la de la resistencia al rozamiento en la superficie del eje, por el impedimento que el roze sobre el carril en D ofrece para que corra la rueda.

Desde luego nos figuramos como la fuerza hará mover la rueda hácia delante, pues es claro que el rozamiento en D obra con el brazo de palanca DC para hacer dar vuelta á la rueda sobre su eje, mientras que el rozamiento del eje en A no obra sino con el brazo de palanca AC radio del eje para resistir al esfuerzo de la fuerza motriz. Segun esto, no atendiendo á mas que lo que toca al rozamiento del eje, es tambien claro que si se dobla el radio de la rueda se disminuye una mitad la fuerza necesaria para poner el carro en movimiento, y se reducirá en una proporcion análega segun se aumente el rayo de la rueda, porque el mismo eje puede llevar una misma carga sea el que fuese el tamaño de las ruedas.

Esta es una verdad que se ha publicado muchas veces en Inglaterra y por lo mismo es mas estraño que se haya ocultado á la perspicacia de varios escritores que han tratado de carruages y aun han hecho esperimentos sobre ellos. No se ve en las descripciones que hacen de dichos esperimentos, ni siquiera un ejemplo en que se indique la razon en que debe estar el diámetro de la rueda con el del eje.

Asi que si es satisfactorio ser llevado por el raciocinio hasta el punto de encontrar una verdad útil, lo es todavia mas

ver esta verdad confirmada por la esperiencia. Mandé construir un carrillo con dos géneros de ruedas: el diámetro de las unas era doble mayor que el de las otras: los ejes de hierro y los bujes de cobre, de modo que cambiando las ruedas no habia la menor variacion en las superficies en que se verificaban los rozamientos: las ruedas eran de hierro colado y sus bordes ó llantas hechas á torno: las pequeñas tenian 4 pulgadas (100 mil.) de diámetro, y las grandes 8 (200 mil.). El diámetro de los ejes era de $\frac{1}{2}$ pulgada (14 mil.). El camino de hierro 4 varas ($3\frac{1}{3}$ met.) de largo, y se reducia á 2 barras de hierro embutidas en unos maderos de 4 pulgadas (114 mil.) de grueso: el canto superior de las barras se habia limado y bruñido, con lo que tenia un carril que podia poner á nivel ó al grado de inclinacion conveniente. Los ejes se untaron con aceite de olivas, é hice las esperiencias que se verán despues de puesto á nivel.

Esperiencia 3.ª Se pusieron al carro las ruedas de 4 pulgadas y se le cargó hasta que un peso de dos libras pasado por una polea, y tirando en direccion paralela al camino produjo un movimiento medianamente acelerado que hizo correr á las ruedas una vara (91 cent.) en los 9 primeros segundos. El peso total de carro y carga era de unas 100 libras (55 kilog.), y el efecto del rozamiento sobre la polea estaba igualmente calculado; de manera que la carga toda era puesta en movimiento por la 62 parte de su peso.

Púsose luego un motor del peso de 4 libras, y se aumentó la carga hasta que el mismo espacio se hallase corrido en el mismo tiempo. Verificado así el peso total de carro y carga resultó ser de 230, 5 libras y la fuerza motriz de 3,886 libr. Luego la fuerza motriz no era mas que la 59 parte de la carga con corta diferencia.

Parece, pues, segun esta esperiencia que la resistencia no es exactamente proporcional á la presion.

Esperiencia 4.ª Se quitaron las ruedas de 4 y se pusieron las de 8 pulgadas, arreglando la polea para que estuviese paralela á las barras la línea de tiro. Se colgó un peso de 2 libras y se aumentó la carga hasta que corriese los 30 pies primeros en los 9 segundos. Hallóse pesar todo comprendiendo el carro y ruedas 219,75 libras. La fuerza motriz hecha la rebaja del rozamiento de la polea, era de 1,943 libras. Luego la fuerza motriz era sobre poco mas ó menos la 113 parte del peso, ó lo que es lo mismo la carga era puesta en movimiento por la 113 parte de su peso.

Esta proporcion no conviene exactamente con la de los diámetros de las ruedas: se diferencia $\frac{1}{10}$ si se compara con la esperiencia en que la presion era de 100 libras (55 kilog.) y de $\frac{1}{20}$ si con la otra en que era de 230,5 (104,53 kilog.). Resta examinar si esta diferencia depende de la resistencia esperimentada en la circunferencia, ó del rozamiento del eje.

Cuando se aumentó la carga hasta que una fuerza motriz de 3 libras produjo la misma velocidad en igual tiempo, se halló que el peso total era de 320 libras (145 kilog.) con lo que vino á ponerse en movimiento la carga con la 107 parte de su peso. Todavia parece que en este caso aumenta alguna parte de la resistencia en una razon mayor que la presion.

De estas esperiencias, repetidas varias veces y siempre con igual resultado creemos poder inferir que la fuerza que puede poner en movimiento un carro sobre un camino de hierro, siendo la carga y ejes los mismos, está en razon inversa del diámetro de las ruedas.

Hagamos este mismo examen en otra forma mas general y supondremos siempre que la fuerza obra en una direccion paralela á las barras sobre que dan vuelta las ruedas y de nivel con el eje. Sea, pues, AB fig. 35 una línea horizontal, CB la inclinacion de las barras, Pc la direccion del motor. Llamemos P la fuerza motriz W el peso del carro y carga, F la resistencia por el rozamiento que se hace en el eje, y i el ángulo de inclinacion ABC. Entonces P—F = á la parte de fuerza empleada en hacer subir el carruage por el plano inclinado; pero cC : c a :: W : P—F, y los triángulos a Cc y ABC son semejantes, pues ambos son rectángulos, luego tenemos CB: AC :: W : P—F, ó porque $\frac{AC}{BC} = \text{sen } i$, tenemos W sen i = P—F y W sen i + F = P.

Pero F es proporcional á la presion producida sobre el eje por estas fuerzas. Ahora llamemos R el radio de las ruedas, r el radio de los ejes, y f el rozamiento cuando la presion es representada por la unidad. La presion sobre el eje es la resultante de las fuerzas aC y ac. Pero

$$aC = W \cos i, \text{ y } ac = W \text{ sen } i$$

y siendo las fuerzas en ángulos rectos

$$W\sqrt{\cos^2 i + \text{sen}^2 i} = \text{á la resultante;}$$

pero esta es igual á W, luego $F = \frac{Wfr}{R}$ y por consiguiente

$W\left(\text{sen. } i + \frac{fr}{R}\right) = P$ = á la fuerza que puede hacer subir un carro por un plano inclinado, y $W\left(\text{sen } i - \frac{fr}{R}\right)$ = la fuerza que hace tirar á bajar al carro y que viene á ser cero cuando sen $i = \frac{rf}{R}$.

Cuando sen i es mas pequeño que $\frac{fr}{R}$ tenemos $W\left(\frac{fr}{R} - \text{sen } i\right) =$ P = á la fuerza que puede mover un carro por un plano inclinado.

En la última ecuacion, cuando $\frac{fr}{R} = \text{sen } i$ tenemos P = o, es decir que el carro bajará por efecto de su propio peso. Esto nos proporciona un medio práctico fácil de determinar el rozamiento: no hay mas que dar á las barras que forman los carriles del camino una inclinacion suficiente para que el carro se ponga sencillamente en movimiento, entonces el rozamiento será espresado por el seno del ángulo de inclinacion.

En fin, cuando el camino está á nivel...

Sen i = o y $W\frac{fr}{R}$ = P. lo queda la fuerza motriz igual á la resistencia ó al rozamiento, y como nuestras esperiencias han sido hechas de este modo, tenemos la facilidad de comparar estos dos modos de esperiencia.

Esperiencia 5.ª Se aumentó la inclinacion de nuestro camino hasta que el carro con sus ruedas de 200 mil. (8 pulg.) y una carga de 25,40 kil., bajase con un movimiento continuo. El peso de carro y ruedas era de 11,66 kilog. El movimiento se hacia sensiblemente mas lento cuando se añadian 39 kilog. á la carga; pero siempre era bastante regular, y cuando se quitaba toda la carga, rodaba facilísimamente, pero con una velocidad media que no pasaba de 500 mil. por segundo: se necesitaban 9 á 10 para que corriese los 2,75 met. Medida la inclinacion se halló ser de unos 45 mil. por un espacio de 3,656 met. medido por la inclinacion. Tenemos aquí $\frac{1}{81}$ casi del peso por lo que hace á la fuerza motriz.

Esperiencia 6.ª Púsose el carro con las ruedas de 100 mil. de diámetro ó 4 pulg. en lugar de las de 8, y se notó que no

se puso en movimiento, mientras no se varió de inclinacion, á no aumentar mas la carga. Luego que la inclinacion llegó á 85 mil. sobre el mismo espacio 3,656 met. medidos sobre las barras, entonces se movió el carro con la misma velocidad que en la esperiencia anterior, de manera que la fuerza era igual á $\frac{1}{36}$ del peso. Añadiendo 62 kilog. poco mas ó menos al peso del carro el movimiento se amortiguaba. El peso del carro con las ruedas chicas era cosa de 8 kilog.

Parece, segun estas esperiencias, que no disminuye la resistencia exactamente la mitad cuando se dobla el diámetro de las ruedas, pero la diferencia no es mas que de $\frac{1}{12}$ de esta proporcion. La resistencia principalmente de los bordes, era aqui mucho mayor que en las esperiencias hechas en el camino á nivel.

Esperiencia 7.ª Se aumentó la inclinacion hasta que el seno del ángulo fue de 0,039 y el tiempo de la bajada se contó mediante un péndulo de segundos, corriendo un espacio mas ó menos largo. Con las ruedas de 4 pulgadas y una carga de 18 kilogr. corrió el carro 2,7 met. en 5 segundos, y 1 metro, 5 mil. en 3 segundos. Asi los espacios corridos fueron casi como el cuadrado de los tiempos.

Esperiencia 8.ª Con las ruedas de 8 pulgadas y una carga de 18 kilog. el carro corrió 7,7 pies (2,34 met.) en 4 segundos.

Si se quieren comparar estas esperiencias con las primeras, es necesario servirse de las fórmulas del descenso de los cuerpos por planos inclinados. Las 4 mas útiles son las siguientes:

$$1.^{a}\ s = 16\,\tfrac{1}{12}\,pl^{2} = \frac{v}{64\frac{1}{3}}\,p$$

$$2.^{a}\ v = \frac{2s}{t} = \sqrt{64\tfrac{1}{3}\,ps}$$

$$3.^{a}\ t = \frac{v}{32\frac{1}{3}\,p} = \sqrt{\frac{s}{16\frac{1}{12}\,p}}$$

$$4.^{a}\ p = \frac{s}{16\frac{1}{2}t^{2}} = \frac{v}{32\frac{1}{3}t};$$

ecuaciones en que s designa el espacio descrito en pies, v la velocidad adquirida en pies por segundo, t el tiempo en segundos y la fuerza que obra constantemente sobre el cuerpo movido en partes de su peso.

Despreciaremos en la aplicacion de estas fórmulas las frac-

ciones, pues solo las hemos estendido para que los que o tengan por necesario en otros cálculos, las empleen asi.

Hemos hecho ver que $W\left(\text{sen } i - \frac{fr}{R}\right)$ es igual á la fuerza que hace bajar un carro por un plano inclinado; por consiguiente $p = \text{sen } i - \frac{fr}{R}$ de donde se infiere por la fórmula $4 \text{ sen } i - \frac{fr}{R} = \frac{s}{16\,t^2} = \frac{fr.}{R}$ En las esperiencias anteriores sen $i = 0{,}039$ y en la 7.ª $s = 8$ 9 pies (2,7 met.) y $t = 5$ segundos.

Luego $0{,}039 - \frac{8{,}9}{16 + 25} = 0{,}01666 = \frac{1}{60}$.

La segunda esperiencia en la cual $s = 3{,}3$ pies (1,05 metr.) y $t = 3$ segundos da $\frac{fr}{R} = 0{,}016 = \frac{1}{62{,}5}$. En la 8.ª esperiencia $s = 7{,}7$ pies (2,34 met.) y $t = 4$ segundos; luego $0{,}039 - \frac{7{,}7}{16 \times 16} = 0{,}0079 = \frac{1}{122}$ poco mas ó menos.

Estas esperiencias dan, pues, resultados que se aproximan mucho á los de las esperiencias 3.ª y 4.ª, pero la presion era mucho mas fuerte, y el género de esperiencia no nos permitia hacerla mas considerable.

Tenemos que considerar ahora la relacion del rozamiento á la presion, tal cual resulta de estas esperiencias; y pues el diámetro del eje $= 0{,}55$ pulgadas (14 mil.) y el de la rueda $=$ 4 pulgadas (100 mil.) tenemos en medidas métricas, cuando toda la resistencia es de $\frac{t}{60}\frac{fr}{R} = \frac{f \times 14}{100} = \frac{1}{60}$ ó sea $f = \frac{840}{100} = 0{,}119$.

En la esperiencia con las ruedas de 8 pulgadas, hemos tenido $\frac{f \times 14}{200} = \frac{1}{113}$ poco mas ó menos, ó sea $f = \frac{1582}{200} = 0{,}126$.

El medio entre estos dos resultados es 0,122, un poco menos de $\frac{1}{8}$. Este es, pues, el rozamiento á que debemos atenernos en la práctica, pues hemos evitado de intento el afinar mucho nuestro aparato, por no darle mas perfeccion que la

que tienen las máquinas destinadas á servir en grande.

Esperiencia 9.ª Para calcular el rozamiento del eje, independientemente del del camino se puso el carro boca abajo encima de un banco, dejando libres y sobresalientes las ruedas por los lados y sujetando bien el carro por la otra punta. Se puso una tira de tela lisa y flexible sobre cada rueda y se colgó de cada lado de las dos tiras un platillo de balanza. Con $\frac{1}{120}$ de añadidura al peso produjo un movimiento lento pero regular, tanto con 27 kilogr. como con 54 idem. Luego si despreciamos la rigidez de las tiras, tendremos tambien $\frac{1}{8}$ con corta diferencia por espresion del rozamiento del eje $f = \frac{200}{14 \times 20} = \frac{1}{8}$.

Es, pues, evidente que la resistencia sobre el camino de hierro es casi ninguna, cuando está bien limpio, igual y terso; y que podemos limitarnos á las investigaciones que tienen relacion con la resistencia que se ejerce sobre el eje, en todo lo que hace al movimiento de los carros por un camino de hierro.

4.º *Proporciones de las máquinas loco-motrices para los caminos de hierro.* Cuando se destina una máquina de estas para tirar de un tren de carros por un camino de hierro cuyas barras no sean de muescas, su peso debe ser bastante para producir sobre la superficie del camino tanto rozamiento como se necesita para que su cantidad sea igual á la fuerza necesaria para poner el tren en movimiento, pues si el rozamiento fuese menor, las ruedas darian vueltas sin que el carro anduviese hácia delante.

Sea E. el peso del carro que lleva la máquina, f' el rozamiento cuando la presion es igual á la unidad, y i el ángulo de inclinacion.

Conforme á los principios de mecánica E. cos i = á la presion sobre el plan y Ef' cos i = al rozamiento. Supongamos que el tren esté bajando y que el peso de todos los carros junto con sus cargas sea = w. Tenemos entonces $w\left(\frac{fr}{R} - \text{sen } i\right) =$ á la fuerza que puede poner el tren en movimiento. Tenemos por consiguiente:

$$Ef' \cos i = W\left(\frac{fr}{R} \text{ sen } i\right); \frac{E}{w} f' \cos i = \frac{fr}{R} - \text{sen } i$$

Pero cuando se trata de ángulos tan pequeños, el coseno no se diferencia sensiblemente del radio, y por consiguiente puede suponerse en la práctica

$\frac{fr}{R} - \frac{E}{w} f' =$ sen i = al ángulo de inclinacion; $\frac{Ef' \cos i}{\frac{fr}{R} - \text{sen i}} = w =$ al peso del tren de los carros; y $\frac{w}{f' \cos i}\left(\frac{fr}{R} - \text{sen i}\right) = E$ ó al peso del carro de vapor.

Cuando el camino es á nivel, entonces cos i = 1 y sen i = o. En este caso tendremos por el peso del tren de carros $w = \frac{E f' r}{fr}$, y por el peso del carro de vapor $E = \frac{wfr}{f'R}$.

A fin de determinar el valor de f' hicimos el esperimento siguiente:

Esperiencia 1o. Sujetamos las ruedas de nuestro carrillo de modo que no pudiesen dar vueltas y aumentamos la inclinacion del camino de hierro hasta el punto que el carro pudiese escurrirse sencillamente sobre el canto de las ruedas. La tangente de inclinacion era entonces = o,165 = $\frac{1}{6,06}$ ó bien el rozamiento era con cortísima diferencia igual á $\frac{1}{6}$ de la presion, y eso porque en este caso el hierro colado resbalaba sobre el forjado, despues de haberlos alisado bastante á ambos por el uso. Pero para otro semejante en la práctica, no deberia regularse el rozamiento tan fuerte, y podria ponerse en $\frac{1}{12}$ de la presion, atendiendo á que con el uso contínuo se llegan á poner las superficies de los carriles tan tersas como el cristal y muy resbaladizas.

Adoptando este último número y haciendo = $\frac{1}{8}$ la proporcion del rozamiento á la presion sobre el eje, tendremos $\frac{r}{8R} - \frac{E}{12w} =$ al seno de inclinacion del camino; $\frac{\frac{1}{12} E \cos i}{\frac{r}{8R} - \text{sen i}} = w$ peso del tren de carros, y $\frac{12w}{\cos i}\left(\frac{r}{8R} - \text{sen i}\right) = E$ peso del carro de vapor.

Ejemplo. Sea el peso de un carro de vapor de 8000 kilog. ú 8 toneladas, y el peso total de un tren de carros 98 tone-

ladas; el diámetro de los ejes de los carros 76 milim. el de las ruedas 914 milim. entonces la ecuacion $\frac{r}{8R} - \frac{E}{12w}$ da $\frac{76}{8\times914} - \frac{8}{12\times98} = \frac{1}{277}$ con corta diferencia, y si la pendiente es menor que la de esta proporcion, las ruedas darán vueltas sin que los carros adelanten nada.

Si los carros suben un plano inclinado, la fórmula vendrá á ser $\frac{E}{12w} - \frac{r}{8R}$ = al seno del ángulo de inclinacion. $\frac{\frac{1}{12}E\cos i}{\frac{r}{8R}+\text{sen } i} = w$

y $\frac{12w}{\cos i}\left(\frac{r}{8R}+\text{sen } i\right) = E.$

Ejemplo. Supongamos que los carros estan vacios y que siendo su peso en este estado 26 toneladas se les va á hacer subir por el camino de hierro, en este caso

$$\frac{8}{12\times26} - \frac{76}{8\times914} = \frac{1}{39} - \frac{1}{96,2} = \frac{1}{66}.$$

Estos ejemplos prueban hasta la evidencia que un grado considerable de inclinacion es favorable á la accion de las máqninas loco-motrices que conducen carros á la bajada. Pero la pendiente mas cómoda para un camino inclinado es aquella que hace aplicable una misma fuerza motriz tanto á las subidas como á las bajadas: el peso de la máquina debe estar calculado para hacerla á propósito para tirar de los carros subiendo, y siendo asi será conveniente para cuando bajen.

Supongamos un convoy de géneros que va bajando y cuyo peso, incluso el de los carros sea representado por w, y supongamos otro que va subiendo cuyo peso con el de los carros sea igual á n w. Entonces para que pueda hacerse la conduccion en ambas direcciones con la misma fuerza, es preciso que haya

$$w\left(\frac{fr}{R} - \text{sen } i\right) = n\,w\left(\frac{fr}{R} + \text{sen } i\right) \text{ ó } \frac{fr}{R} - \text{sen } i = \frac{n\,fr}{R} + n\,\text{sen } i;$$

de donde se saca $\frac{fr\,(1+n)}{R\,(1+n)} = \text{sen } i$. Si los carros no deben volver entonces tenemos $n = 0$ y $\frac{fr}{R} = \text{sen } i$. Y cuando $n = 1$

ó cuando el peso de las mercancías es el mismo en ambas direcciones sen $i = o$.

Las mismas fórmulas se aplican á los planos inclinados cuando los carros que bajan deben estar enteramente cargados, y cuando los que suben llevan poca carga.

Cuando solo hay que subir con los carros vacios, entonces $n\,w$ debe ser igual al peso de los carros; y siendo la proporcion general entre su peso y el de las cargas de 1 á 4 tenemos $n = o,25$; y f siendo igual a $\frac{1}{8}$ tendremos $\frac{o,6r}{8R} = \text{sen } i = \frac{o.3\,r}{4\,R}$.

Si el diámetro del eje es de 76 milim., y el de la rueda 914, entonces $\frac{r}{R} = \frac{1}{12}$ poco mas ó menos y $\frac{o,3r}{4R} = \frac{1}{160} = o,00625$.

5.° *Proporciones de las máquinas loco-motrices en carriles de barras de muescas.* Vamos á examinar ahora el peso que debe tener una máquina que hace dar vueltas á las ruedas sobre barras de muescas. El mejor modo de hacer las muescas ó dientes es de redondearlas de manera que las concavidades sean iguales á las convexidades en toda la longitud del camino. Buchanan dió el medio práctico de trazarlas en su ensayo sobre molinos. Suponiendo, pues, que las muescas esten hechas de esta suerte, las superficies de los dientes que se ponen en contacto harán con el borde superior de las barras del camino un ángulo cuyo coseno será igual á la mitad de la altura de las muescas, y cuyo radio será el de la rueda. Llamemos a á este ángulo, y i el ángulo de indinacion de las barras del camino. Sea E el peso de la máquina, f' el rozamiento cuando la presion está representada por la unidad, y P la fuerza necesaria para poner en movimiento todo el tren de carros.

Entonces E cos i = á la presion de la máquina en una direccion perpendicular á las barras del camino, lo que da E cos i (f' cos a + sen a) = á la fuerza que detiene la máquina en las muescas del camino, y P (cos a — f' sen a) = á la fuerza que tira á hacer salir de las muescas á los dientes que les corresponden de la máquina; tenemos, pues, E cos i (f' cos a + sen a) = P (cos a — f' sen a) cuando estas fuerzas se hallan en equilibrio. De esta ecuacion sacamos:

$\frac{P}{\cos i}\left(\frac{\cos a - f' \operatorname{sen} a}{f' \cos a + \operatorname{sen} a}\right) = E$ peso de la máquina, y $\frac{P - E f' \cos i}{P f' + E \cos i} =$ tang. a; ecuacion en la cual es evidente que si E f' cos i se hace igual á P, la tangente a se hace o, lo que hace ver que solo el rozamiento sobre las barras basta para impedir que las ruedas den vueltas. Pero siempre que la cantidad E f' cos i es mas pequeña que P, son necesarias muescas, y entonces la rueda debe ser tal que la mitad de la altura de las muescas sea al radio como el coseno de *a* es á la unidad. Esto determina el tamaño de la rueda, porque la altura de los dientes esta determinada por la fuerza que deben tener (1).

6.° *Movimiento de los carros por un camino de hierro.* Cuando un carro es tirado por un caballo, tiene este la facultad de proporcionar su fuerza á las circunstancias; y si se trata de hacerle mover por medio de otro cualquier agente mecánico, es preciso tambien economizar una fuerza proporcionada para aumentarla ó disminuirla segun convenga. La utilidad de esta facultad de variar la fuerza se echa de ver principalmente en los momentos de hacer andar de nuevo, ó parar todo un tren de carros. La potencia que designamos por P en las indagaciones anteriores es la que equivale única y precisamente á la fuerza necesaria para tener los carros en movimiento á un grado de velocidad cualquiera. Se necesita ademas una segunda fuerza p para engendrar una nueva velocidad, ó para destruir la velocidad adquirida segun las ocasiones. Segun esto P + p será la fuerza total del agente, y si se trata de que la que haya de servir sea una máquina loco-motriz, se verá que conviene que p = P, esto es, que la fuerza segunda sea igual á la primera ó que la fuerza mayor de la máquina sea doble de la que sirva para el trabajo ordinario. Para otros casos no es necesaria tanta.

Si se desea saber que tiempo se necesita para engendrar la velocidad con que los carros deben moverse, llamando p la fuerza aceleratriz contada en partes de peso, v la velocidad que se va á engendrar espresada en pies por segundo de tiempo, y t el tiempo en segundos, tendremos la fórmula 3.ª de la pag. 52 $t = \frac{v}{32\frac{1}{2}\, p}$.

(1) En otra obra de Mr. Tredgold sobre la fuerza ó resistencia del hierro colado y otros metales se trata de la fuerza de los dientes de las ruedas etc. Es obra muy apreciable, fundada en esperimentos muy recientes.

Ejemplo. Supongamos que un carro deba moverse con una velocidad de 6 pies ingleses (1829 milim.) por segundo y que el esceso de fuerza equivalga á $\frac{1}{200}$ de su peso.

El tiempo para engendrar el movimiento en este caso será espresado por $\frac{v}{32}$ p despreciando la fraccion $\frac{1}{2}$ del divisor.

$$y \frac{6 \times 200}{32} = 37\frac{1}{2} \text{ segundos.}$$

Si se desea saber que espacio debe correr el carro para adquirir la velocidad se hallará en la fórmula 1.ª de la misma página 32 donde designando s el espacio en pies, $s = \frac{v^2}{64\,p}$.

Ejemplo. Si un carro debe caminar con una velocidad media de 6 pies ingleses por segundo, lo que apenas hace mas de 4 millas (6,5 kilometros) por hora ¿qué espacio debe recorrer para adquirir esta velocidad, suponiendo que el escedente de fuerza de la máquina sea $\frac{1}{200}$ del peso de la masa puesta en movimiento? En este caso $\frac{v^2}{64\,p} = \frac{36 \times 200}{64} = 112\frac{1}{2}$ pies (34 metros poco mas ó menos).

Esto nos hace conocer igualmente la distancia que recorreria el carro antes que su velocidad fuese estinguida del todo. Substituyendo en vez de $\frac{1}{200}$ la proporcion de $\frac{1}{25}$ que es casi igual á la resistencia sobre una rueda regular, hallaremos que este espacio no es mas que de 14 pies ó poco mas de 4 metros. De aqui se inferirá la dificultad de impedir en un camino de hierro las desgracias que podrian provenir de encontrar tropiezos los carruages, cuando fuesen con mucha rapidez, pues seria imposible pararlos de repente sobre una superficie tan lisa como la de estos caminos.

7.° *Observaciones generales.* Hemos supuesto el rozamiento $\frac{1}{6}$ de la presion, aunque no dudamos que pueda disminuirse muchísimo, tanto por la perfeccion del trabajo de las piezas, como por la eleccion de substancias mas á propósito para untar todas las partes de las máquinas en que hay movimiento. Un carro escogido y dispuesto al intento para hacer esperimentos, jamas dará una medida muy exacta de la resistencia sobre un camino de hierro; sin embargo, no conocemos otro medio práctico de poder medirla mejor. Asi tambien cuando hemos consultado á la esperiencia sobre la proporcion con que pudieramos medir la potencia de las máquinas, la carga de los caballos y la fuerza de los reguladores,

no hemos creido que pudiera desearse en manera alguna el calcular sobre la mas mínima resistencia. El uso de nuestras indagaciones para avaluar los costos de conduccion por los caminos de hierro puede ser tambien muy ventajoso; pero en esto como en todo lo demas la base del cálculo debe ser un término medio y no el mínimo posible.

En las obras nuevamente publicadas sobre caminos de hierro se ha avaluado el rozamiento en la cantidad mas débil que ha sido posible; pero habiendo reducido la cuestion á la simple relacion del rozamiento á la presion, es fácil comparar los resultados con otras esperiencias. Las obras á que hacemos alusion han llamado estraordinariamente la atencion publica, y por lo mismo es todavia mas necesario examinar bien si las esperanzas que dan son fundadas ó no, y hasta que punto lo son (1).

CAPITULO IV.

De los motores para los caminos de hierro; de la fuerza del caballo á diferentes velocidades y duracion de su tarea de trabajo; de las máquinas ó bombas de fuego, de alta y de baja presion; y de las bombas fijas ó estables y su comparacion con las movibles.

Es de la mayor importancia en lo tocante á la economía de los caminos de hierro, el considerar la naturaléza y efecto de las diferentes especies de agentes que se pueden emplear en ellos. Trataremos primeramente de aquel que siendo el mas sencillo en su aplicacion, es al mismo tiempo el mas seguro en punto al efecto. ¿Conservará aun por mucho tiempo esta preeminencia? Dudable es á la verdad; pero hasta el dia no hay motor mas á propósito para producir el movimiento sobre un camino de hierro.

1.° *Fuerza del caballo.* Cuando se emplea la fuèrza de un caballo para poner en movimiento un carro sobre un camino de hierro es claro que debe procurarse lograr la mayor cantidad posible de efecto útil en el menor espacio de tiempo posible, sin daño ó perjuicio del animal. Tenemos, pues, dos cosas que examinar: la duracion de una tarea ó trabajo diario, y lo sumo ó *maximun* de efecto útil.

2.° *Duracion de la tarea de un caballo.* El tiempo que

(1) Alude á las obras de Young, de Brewsten y de Fergusson.

se hace trabajar regularmente á un caballo es el de 8 horas cada dia; pero está acreditado por la esperiencia que hay ventaja en acortar este número de horas, y segun hemos observado nosotros un caballo se estropea menos pronto cuando hace el mismo trabajo en 6 horas. Si la misma cantidad de trabajo se hace en menos de 6 horas, el esceso de fatiga se manifestará en la tirantez de los corbejones; los efectos del cansancio por una accion prolongada demasiado tiempo, se haran notar igualmente si la duracion del trabajo de año pasase mucho de las 8 horas.

Los caballos padecen á veces mucho por la torpeza y mala maña de los mismos que les cuidan. Es muy imprudente, sobre todo, el hacerlos correr mucho al principio de su tarea; pero con un buen conductor pueden muy bien hacer en 6 horas toda la tarea de un dia; y el caballo lo pasará mejor, tendrá mas vigor y se ahorrará mucho tiempo. El uso bárbaro de hacer trabajar á los caballos hasta que se rindan de cansados, no se introducirá jamas por cierto en los caminos de hierro. Nos hemos afanado lo que no es creible por averiguar el último límite que puede asignarse á la fuerza media de un caballo, y hemos tenido que refundir enteramente los principios sobre que debe tratarse este punto tan importante.

Es de toda evidencia que el trabajo de todo un dia no puede ejecutarse en una hora; pero cuando se necesita espedir con prontitud una partida grande de géneros, es muy útil poder determinar la proporcion de trabajo que se logrará si se quiere que se haga en menos espacio de tiempo; y para hallarse en estado de hacerlo, es preciso fijar los cálculos sobre la mayor velocidad con que puede correr un caballo no cargado, continuando su marcha por cierto número de dias seguidos, porque la mitad de esta velocidad es la que corresponde al *máximun* de efecto útil, segun probaremos con lo que vamos á decir.

De la naturaleza de las fuerzas (1) se deduce la fórmu-

(1) Sea m la fuerza muscular que puede continuar por un dia, w el peso del animal, y s el espacio corrido en un tiempo dado; entonces $v = \sqrt{\frac{64\ ms}{w}}$. Pero el espacio corrido en un tiempo dado está en razon inversa de la duracion del trabajo de un dia ó s: $\frac{1}{d}$ Luego $v = \sqrt{\frac{64\ m}{w\ d}}$ y cuando la velocidad es de 6 millas por hora, cuando $d = 6$ horas tenemos $v = \frac{14,7}{\sqrt{\ }}$.

la siguiente para espresar la velocidad correspondiente á una duracion cualquiera de trabajo: $\frac{14,7}{\sqrt{d}} = v =$ á la mayor velocidad posible espresada en millas por hora, cuando el caballo no lleva carga y la duracion de las horas del trabajo diario está representada por d.

He recogido durante algunos años una multitud de observaciones hechas sobre la materia, y sus resultados convienen perfectamente con las que he hecho yo mismo. El estadito siguiente manifiesta la duracion del trabajo y mayor velocidad de un caballo sin carga.

Duracion d. la marcha.	*Velocidad mayor del caballo no cargado en millas por hora.*	*Velocidad id. en kiloms. por hora.*
HORAS. 1	14,7	23,6
2	10,4	16,7
3	8,5	13,4
4	7,3	11,7
5	6,6	10,6
6	6	9,6
7	5,5	8,8
8	5,2	8,3
10	4,6	7,4

Este estado representa con bastante exactitud la ley segun la cual disminuye la velocidad, cuando el tiempo de la duracion del trabajo aumenta y el caballo marcha descargado por un camino á nivel. La fuerza muscular en accion puede ser considerada como equivalente al $\frac{1}{4}$ del peso del animal.

Cuando el camino está en cuesta, la velocidad, al subir debe disminuir en la razon del seno de la inclinacion; y al bajar debe aumentar en la misma proporcion. Obtenidos estos datos continuaremos nuestras investigaciones examinando primeramente cual es la velocidad correspondiente á lo sumo del efecto útil.

3.° *Maximun de efecto útil.* Es importantisimo conocer

Esta indagacion está limitada á los casos en que la accion es semejante; pero puede estenderse á otros muchos y analizarse de este modo algunos puntos relativos á la fuerza y velocidad de los animales que se cree vulgarmente que no pueden sujetarse á los cálculos matemáticos.

la velocidad que corresponde á lo sumo del efecto útil, por la razon de que la cantidad de fuerza que consume el caballo depende en mucha parte de ello.

Cuando un caballo va por un camino descargado, la distancia mayor que pueda recorrer de modo que se halle siempre en estado de volver á empezar y continuar su tarea durante varios dias seguidos sin padecer una fatiga peligrosa, es evidentemente el límite de la velocidad que puede adquirir; pero en este caso el efecto útil que produce es nulo; y es igualmente cierto que cuando un caballo emplea toda su fuerza en tirar de un carruage vacio, su trabajo útil es tambien nulo. Por otra parte la carga puede ser bastante grande para que el caballo apenas pueda ponerla en movimiento; y en este caso tambien el efecto útil será nulo. Pero entre estos límites de velocidad y fuerza hay un término medio que dá el *maximo* de efecto útil y que por consiguiente debe ser el mas ventajoso para la aplicacion de la fuerza del caballo al servicio de los caminos de hierro.

La velocidad que corresponde al máximo de efecto útil, es la mitad de la mayor velocidad del caballo descargado (1). La mayor velocidad de un buen caballo descargado no pasa de 6 millas (9,6 kilom.) por hora, cuando la marcha dura 6 horas; y por consiguiente 3 millas (4,8 kilom.) por hora son la velocidad correspondiente al máximo de efecto cuando el trabajo dura 6 horas.

(1) Llamemos v la mayor velocidad de un caballo descargado y m la fuerza muscular constante que engendra esta velocidad; w la resistencia vencida cuando el caballo no va cargado, y v otra cualquiera velocidad. Tendremos $m v - w v =$ á la fuerza efectiva. Pero $m v = V w$ ó $\frac{m v}{V} = w$. Luego $m v - \frac{m v^2}{V} =$ á la fuerza efectiva, y esta debe tener un maximo. El maxi- s: verifica cuando la diferencial de la variable es igual á o, ó cuando $v - \frac{2 w}{V}$ o, esdecir cuando $V = 2 v$. Luego la velocidad que corresponde al maximo de efecto útil es la mitad de la mayor velocidad del caballo sin carga. Sea P v la fuerza del caballo, entonces $m v - \frac{m v^2}{V} = m v \left(\frac{V - v}{V}\right)$ $= P v$, y $m \left(\frac{V - v}{V}\right) = P$. Cuando $v = o$, $P = m$; asi m es siempre igual á la fuerza que hace equilibrio á la fuerza del caballo en reposo, y cuando $v = V$, $P = o$; como asi debe ser. Al maximum $\frac{1}{2} m = P$, y como m es constante, la fuerza á lo sumo será una cantidad constante, sea el que se fuese el número de horas de la tarea diaria.

Para un caballo de mediana fuerza $m = 113$ kilogr.

Si el trabajo diario fuese de 8 horas, la velocidad mayór seria de 5 millas, (8 kilom.) por hora, lo que da $2\frac{1}{2}$ millas (4,5 kil.) por hora de velocidad correspondiente al máximo de efecto útil.

La tarea media que se señala á los caballos mas endebles no es tanta, pero la diferencia debe mas bien recaer sobre la carga que sobre el tiempo del trabajo.

Innumerables esperiencias repetidas por largo tiempo han probado que la fuerza media del caballo es de 113 kilógramas, cuya mitad $56\frac{1}{2}$ puede regularse como la fuerza de un caballo al paso de 6 horas diarias de trabajo y 3 millas por hora (4,8 kilim.).

Si la tarea diaria fuese de 8 horas la fuerza del caballo seria la misma, pero solo andaria $2\frac{1}{2}$ millas por hora durante las 8. La diferencia no estaria jamas sino en la velocidad, fuese la que se fuese la de la duracion de la tarea.

El mejor modo de partir el trabajo para carros muy pesados seria el de dividir toda la estension del camino en paradas de á 9 millas (14,5 kilom.) cuando la jornada es de 6 horas de trabajo; de hacer andar los caballos durante 3 horas, dejarlos descansar luego 6 y concluir la jornada haciéndoles correr en otras 3 horas la última parada. Cuando se quiere conducir la mayor cantidad posible de efectos con la mas corta cantidad de fuerza, lo sumo de la velocidad debe ser de 3 millas por hora, y séase el que se fuere el grado superior de velocidad que se consiga, no se verificará jamas sino por un acrecentamiento de gasto. Parece que puede ser utilísimo saber que aumento de gasto debe resultar cuando la velocidad se aparta del *maximum* de efecto útil, y se reduce la duracion de la tarea de trabajo.

Supongamos primeramente que el tiempo del trabajo sea siempre el mismo, esto es, de 6 horas por dia; el maximo de efecto útil será entonces de 125 libras (cosa de 57 kilog.) con una velocidad de 3 millas (4,8 kilog.) por hora; supongamos que el costo del carro sea $= 1$ (1).

(1) Hemos hecho ver antes que $\frac{250\ v}{V}(V - v) =$ á la fuerza de un caballo en libras, y suponiendo que la fuerza al maximo de efecto útil sea igual á la unidad, tenemos $\frac{2\ v}{V}(V - v) =$ la fuerza; y como el gasto es en razon inversa de la fuerza, los costos de conduccion de los géneros á 3 millas de dis-

Millas por hora.	*Kilometros por hora.*	*Gasto.*	*Fuerza motriz.*
2 . .	. . 3,2 . .	. 1,125 .	. 71
3 . .	. . 4,8 . .	. 1 .	. 56,8
$3\frac{1}{2}$ . .	. . 5,6 . .	. 1,0285 .	. 47,3
4 . .	. . 6,4 . .	. 1,125 .	. 35,5
$4\frac{1}{2}$ . .	. . 7,2 . .	. 1,333 .	. 28,4
5 . .	. . 8,0 . .	. 1,800 .	. 18,9
$5\frac{1}{2}$ . .	. . 8,2 . .	. 2 .	. 16,5

KILOGRAMAS.

Es decir que el gastc para transportar géneros á 3 millas por hora, suponiendo que sea uno el de transportarlos á $4\frac{1}{2}$ millas por hora será de $1\frac{1}{3}$ y asi succesivamente llegando á doblarse el gasto, cuando la velocidad es de $5\frac{1}{3}$ millas por hora (1).

Si se reduce el número de horas de trabajo, tomando las velocidades correspondientes al maximo de efecto útil, el gasto será en razon inversa del producto de la velocidad por la duracion del trabajo, suponiendo que el gasto de las 6 horas á razon de 3 millas por hora sea igual á 1.

tancia cualquiera que sea la velocidad v, estarán en la razon de $\frac{1}{3}$ a $\frac{V}{2v(V-v)}$ ó como 1 : $\frac{3V}{2v(V-v)} = \frac{9}{v(6-v)}$ en el caso que $V = 6$. Si $v = 2$ millas por hora, entonces $\frac{9}{2(6-2)} = 1\frac{1}{8}$.

Si $v = 4$ millas por hora, entonces $\frac{9}{4(6-4)} = 8\frac{1}{8}$ al paso que si es la velocidad de 3 millas por hora, el gasto será = 1.

(1) En una porcion de ensayos que se han hecho sobre los caminos de hierro, se han servido de la fórmula del profesor Leslie para calcular la fuerza de tiro; mas esta fórmula parece hecha para ciertas observaciones que no se especifican, y no está fundada sobre los verdaderos principios.

Duracion del trabajo.	*Millas por hora.*	*Gasto proporcional.*	*Duracion del trabajo.*	*Millas por hora.*	*Gasto proporcional.*
1 hora.	7 $\frac{3}{8}$	2,45	1 hora.	11	3,2 5
2 . .	5,2	1,73	2 . .	7,8	2,3
3 . .	4 $\frac{1}{4}$	1,41	3 . .	6,4	1,87
4 . .	3 $\frac{7}{8}$	1,23	4 . .	5,5	1,63
5 . .	3 $\frac{1}{4}$	1,1	5 . .	4,9	1,46
6 . .	3	1	6 . .	4 $\frac{1}{2}$	1,333
7 . .	2 $\frac{3}{4}$	0,94	7 . .	4 $\frac{1}{4}$	1,25
8 . .	2 $\frac{1}{2}$	0,9	8 . .	3 $\frac{3}{4}$	1,2
10 . .	2 $\frac{1}{4}$	0,74	10 . .	3 $\frac{1}{2}$	0,985

La primera columna de esta tabla da la duracion del trabajo en las 24 horas; la segunda las millas corridas por hora, cuando el trabajo hecho en el tiempo correspondiente es el mayor posible; la tercera designa el gasto del carro, cuando el gasto del caballo regular que anda 6 horas cada dia, y á razon de 3 millas por hora está regulado por la unidad. Supónese el camino perfectamente á nivel, y la presion sobre los carriles de 125 libras (56,8 kilog.) por pulgada cuadrada inglesa (645 milim. cuadr); la quinta columna señala la velocidad cuando la presion no es mas que la mitad de la anterior ó de 28,4 kilog. por 645 milim. cuadrados, y en fin la sesta el gasto proporcional.

Damos estas cantidades como valor entero de la fuerza media de un caballo para todos los casos comprendidos en la tabla (1). En los canales hay la ventaja de ir con una velocidad

(1) La medida de la fuerza de un caballo adoptada por los señores Boulton y Watt para el cálculo de la fuerza de sus máquinas es la siguiente: un caballo andando al paso de 2½ millas por hora levanta un peso de 150 libras (68 kilogr.) colgado de su cuerda pasada por una polea, durando 8 horas el trabajo diario. Segun Robison $8 \times 2\frac{1}{2} \times 150 = 3000$ libras (1360 kil.) levantadas á 1 milla (1609 metr.) en la tarea de cada dia. Mr. Palmer en la descripcion del camino de hierro de su invencion usa la misma medida. Esto está muy bien sentado como espresion elemental de la fuerza de un caballo para calcular el efecto de las máquinas; pero la cantidad es demasiado fuerte para el efecto positivo de un caballo de mediana fuerza. Ya hemos dicho cuál es el mayor esfuerzo sobre las barras de un camino de hierro que pueda administrarse razonablemente en la práctica. Para un trabajo de 8 horas tenemos $8 \times 2\frac{1}{2} \times 125 = 2050$ libras (1137 kil.) levantadas á 1 milla. Debemos á Mr. Bevan algunas observaciones sobre la fuerza de tiro necesária para conducir los barcos en el gran canal de reunion. Halla ser la fuerza de tiro de 30 libras (36 kil.) y el espacio andado de 26 mi-

casi igual al maximo de efecto útil durante una tarea de 10 horas, y caminando todo este tiempo sin otro momento de descanso que el del paso de las esclusas. En queriendo ir mas aprisa, el aumento de resistencia llega á ser considerable, pues este aumento en los fluidos es casi proporcional al cuadrado de la velocidad. En los caminos de hierro por el contrario, la resistencia es casi siempre la misma, sea la que se fuese la velocidad; la prontitud de las conducciones será por eso una de sus principales ventajas. Vemos por la tabla que desde el punto que la velocidad pasa de $4\frac{1}{2}$ millas por hora, hay una ventaja notoria en reducir la duracion de la tarea diaria de trabajo mas bien que en disminuir la cantidad de tiro. La esperiencia, ó mas bien una combinacion de circunstancias, ha hecho dar á los empresarios de carruages con el mismo resultado. Pero lo han llevado un poco mas adelante, pues han visto que hay mas ganancia en duplicar la cantidad de trabajo designada por nosotros como tarea diaria de un caballo, tirando á dejar inservible el caballo en el espacio de 3 ó 4 años. La diferencia entre el interes que cubre el escedente de capital gastado en la adquisicion de nuevos caballos, y el dinero que costaria anualmente mantener un número mayor de ellos es demasiado grande para que el propietario de 300 á 400 caballos de tiro, se detenga un momento en sacrificar el tercio de ellos cada año. Causa cierta especie de tristeza el pensar que hemos de hacer morir asi continuamente miles y miles de estos animales útiles, de trabajo y de puro-cansancio. Ojala que el establecimiento de los caminos de hierro pueda remediar en algun modo este mal y pérdida, suavizando el mal tratamiento que damos á estos pobres animales.

No parece verosimil que se llegue á hacer servir el viento de fuerza motriz en los caminos de hierro. Pasaremos pues á examinar desde luego las ventajas del vapor empleado como motor. Dos modos hay de aplicarle á este objeto; el primero por medio de una máquina fija ó estable, y el segundo empleando una máquina loco-motriz que anda hácia delan-

llas al dia lo que equivale á $26 \times 80 = 2080$ (926 kil.) levantadas á 1 milla en la tarea diaria, con una velocidad de 2,45 millas (casi 4 kilm.) por hora. Este resultado es mucho menos fuerte que el que daria nuestra fórmula para el mismo caso, y seria 2900 libras, 1318 kil.) levantadas á 1 milla. Pero la velocidad se aproxima infinito á la calculada por nuestra regla sentada al principio. Obsérvese que la línea de tiro en los canales, como que es oblicua con la direccion que sigue el caballo, da alguna diferencia en la fuerza.

te al paso que tira de los carros: discurriremos sobre ambos á dos y compararemos sus ventajas peculiares.

4.° *Máquinas loco motrices.* Una máquina de estas es una bomba de vapor colocada sobre ruedas, de modo que la fuerza del vapor pueda ponerlas en movimiento y por medio del impulso que las comunica, hacerlas tirar de una reata de carros. En unas partes las ruedas del carro que lleva la máquina tienen ciertos dientes que encajan en las muescas que se hacen sobre las barras del camino de hierro, y en otras todo es liso ruedas y camino, y solo el rozamiento de las ruedas sobre las barras es la única resistencia que tiene que vencer la fuerza del vapor para hacer andar toda la reata de carros. Hay tambien otros caminos en que en vez de dar vueltas las ruedas del carro de la máquina, van de resbalon por el carril, pero esto las gasta y destruye muy pronto y es lo que nos movió á indagar en el capítulo anterior cual era el grado de inclinacion y la cantidad de presion que convenia dar á los caminos de hierro tanto lisos como dentados para impedir este resbalamiento que siempre es un inconveniente.

5.° *Máquinas de alta presion.* Las bombas de alta presion son al parecer las únicas que se han usado hasta el dia sobre los caminos de hierro á causa de su poco peso y de la sencillez de su trabajo. Estas obran á una presion de 210 á 280 grammas por centímetro cuadrado sobre la presion atmosférica; y como hallamos ciertos inconvenientes en el uso de esta especie de máquinas en los caminos de hierro destinados al servicio público, cremos deber manifestar desde ahora y en brebes palabras, en que se fundan nuestras objeciones. Primeramente nada tienen de exactas las reglas por las cuales se calcula la resistencia de las calderas y propenden á hacer creer al que calcula por ellas que podrán aguantar las calderas una presion mucho mayor que la que realmente aguantarán. El modo comun de probar las calderas por la presion hidrostática no puede ayudar á rectificar este defecto, porque una caldera probada asi no se encuentra en circunstancias semejantes á las que se encontrará en el uso á que se destina. Ademas, cuando la presion á que se sujeta para probarla escede un cierto punto del de la fuerza absoluta de la materia, resulta de la misma prueba un daño irreparable para la caldera.

El vapor á alta presion no puede formarse sino mediante un grado muy alto de calor, y la accion de este calor sobre

la caldera es muy desigual, lo que ocasiona una dilatacion irregular y por consiguiente un esfuerzo que no es fácil conocer bien. El riesgo de este esfuerzo puede disminuirse mucho empleando un metal ductil para la construccion de estas calderas, pero su naturaleza é intensidad vienen á ser siempre las mismas ó variarán poquísimo. El fuego mismo altera continuamente la fuerza de la caldera quemando y destruyendo las chapas, y como se necesita mayor intensidad de calor para producir el vapor en una caldera gruesa que en otra delgada, una caldera fuerte debe registrarse muy á menudo.

Acaso podrian evitarse estos varios inconvenientes, si fuera dado contar con la prudencia humana en el uso de estas máquinas. En un camino de hierro en que hay concurrencia y rivalidades deben temerse riesgos mayores proporcionalmente, porque en tales casos los hombres no temen esponerse á los mayores riesgos, y cuando los riesgos personales no detienen al hombre, por mas sàbias precauciones que se tomen, por mas ingeniosos medios que se inventen para impedir un aumento peligroso de presion, todo será en vano y quedará fustrado por la fértil imaginacion del presuntuoso que tenga á menos no ir mas corriendo que todos por el mismo camino.

A esto se reducen nuestros reparos: examinaremos ahora la velocidad que se consigue con las máquinas de alta presion, su potencia y medios porque podrian perfeccionarse.

La velocidad no tiene en este caso otros límites que el del gasto y riesgo de desgracias; pero hay una velocidad, tanto para las bombas como para los caballos que da un maximo de efecto útil, y despues de hacer ver cuál es la potencia de la máquina, pondremos á la vista de nuestros lectores este nuevo resultado de la ciencia.

Si se quiere aumentar la velocidad sin perjudicar á la sencillez de movimientos de la máquina, el radio de las ruedas debe ser mayor, pero no es bueno por razones que luego diremos, que la velocidad del émbolo de vapor sea de mas de 52 metros por minuto, cuando la longitud de la manija es de 304 milimetros, y entonces el émbolo andará 1,252 metros á cada vuelta de la rueda lo que corresponde á 42 ½ golpes por minuto. La velocidad del carro es á la del émbolo como la circunferencia de la rueda es á 2 veces el diámetro de la manija. Es, pues, fácil calcularla; 52 metros por minuto hacen 3120 por hora, y si llamamos c el radio ó longitud de la manija y R el de la rueda, tenemos esta pro-

porcion: 4^c: 6,2832 R:: 3120: $\frac{4900R}{c}$ Asi $\frac{4900R}{c}$ = á la velocidad del carro en metros por hora. Y si el rádio de la manija es de 304 milimetros y el de la rueda 472, tendremos $\frac{4900 \times 0,472}{0,304} = 7936$ metros por hora. Dando mas diámetro á las ruedas se aumentará la velocidad y se la hará subir á un grado indefinido en cuanto la práctica puede permitirlo.

Cuando se gastan máquinas de alta presion, se desperdicia mucho combustible, tanto que no baja de la cantidad necesaria para reducir á vapor toda el agua que bastaria para el servicio de una máquina de baja presion. Esta pérdida importaria un bledo en una mina de hornaguera, mas cuando anda caro y escaso el carbon, la menor pérdida de efecto llega á ser perjudicialísima para la conservacion de la potencia del vapor.

Habiendo tenido mil ocasiones de estudiar la naturaleza y fuerza del vapor, y habiéndonos probado la comparacion mas escrupulosa de nuestra teoría con la práctica, que aquella abraza los puntos principales que ventilamos sobre la fuerza del vapor; daremos aquí nuestra fórmula reservando la demostracion para otro lugar.

Si llamamos f la fuerza del vapor en pulgadas inglesas de azogue; t la temperatura correspondiente; f' la resistencia causada por el rozamiento del émbolo de vapor, y por el vapor no condensado ó por la presion atmosférica en las máquinas de alta presion; y n el volúmen del cilindro de vapor cuando el volumen del vapor admitido con la fuerza f es la unidad, entonces tenemos por lo que hace al vapor producido por 1 pie cúbico de agua la espresion $4823\,(459 + t \times 1 - \frac{nf'}{f} + \text{long. hyp. } n)$ cuando el vapor no obra por espansion.

Cuando se emplea la fuerza espansiva del vapor, entonces la ecuacion tiene un máximo que debe verificarse cuando log. hyp. $n - \frac{nf'}{f}$ es un mínimo, y es fácil probar que esto sucede cuando $n = \frac{f}{f'}$ Si entonces se le substituye $\frac{f}{f'}$ á n tene-

mos 4873 $(459 + t) \times$ log. hyp. $\frac{f}{f'}$ = al maximo de potencia de 1 pie cúbico de agua convertida en vapor.

Cuando $f = f'$ el logaritmo hiperbólico $\frac{f}{f'} = 0$ y la fuerza es nula, y cuando $1 - \frac{f'}{f'}$ es mayor que el logaritmo hiperbólico de $\frac{f'}{f}$ es un perjuicio el servirse de la fuerza espansiva del vapor.

Si se quiere calcular la cantidad de combustible, llamando c la cantidad que convierte un pie cúbico de agua capaz de hacer equilibrio á la presion de la atmósfera; s el calor específico del vapor, a el calor específico del aire y del humo que se escapa por la chimenea, y w el combustible necesario para elevar 1 grado la temperatura de 1 pie cúbico de agua, entonces $c + (t - 212^{\circ}) \times (a + s) w =$ á la mas corta cantidad de combustible necesario para producir vapor de la fuerza f y de una temperatura t.

Admitamos como dato que $c = 8{,}4$ libras de hornaguera de Newcastle, $w = 0{.}0075$ libras $s = 0{,}847$, y $a = 0{,}753$ y tenemos $8{,}4 + 0{,}012\ (t - 212) =$ á las libras de carbon necesarias para producir el vapor de la temperatura t.

Vamos á aplicar ahora estas fórmulas para determinar la fuerza de una máquina de alta presion y lo que consume. Podemos sentar como presion de la atmósfera 30 pulgadas inglesas de azogue (0,76 metros) (1).

Para determinar el rozamiento del émbolo del vapor y su barra podemos suponer sin error notable que la totalidad de la superficie que padece rozamiento es igual á la area del cilindro. Sabemos que estas superficies no pueden juntarse exactamente sin dejar salida al vapor á no estar comprimidas una contra otra con mas fuerza que la presion del vapor, pero como no conocemos con exactitud que esceso de presion se necesita, supondremos que las superficies que estan en contacto se comprimen con una fuerza doble de la del vapor. Mas el rozamiento es con corta diferencia proporcional á la presion,

(1) Segun observaciones continuadas por espacio de 20 años en la sociedad real y revistas por Mr. Howard la presion media en Londres es de 29,8643 pulgadas, y el término medio de las observaciones de 3 años de Mr. Daniell es de 29,881 pulgadas.

y en este caso presente es cosa del $\frac{1}{10}$ de la presion. Tendre- pues $\frac{2f}{10} = \frac{1}{5} f =$ al rozamiento, es decir que el rozamiento del émbolo de vapor es la quinta parte de la presion del vapor. Puede añadirse á esta cantidad $\frac{1}{20}$ f por esceso de presion en la caldera, lo qne da por pérdida total $\frac{1}{4}$ f.

Pero en las máquinas de alta presion la que se verifica sobre uno de los lados del émbolo es la misma que la presion atmosférica, tenemos pues $f' = \frac{1}{4} f + 30 =$ a la resistencia á la fuerza motriz f.

Luego en el caso en que una máquina de alta presion obra por la fuerza espansiva del vapor tenemos $4873 (459 + t) \times$ log. hip. $\frac{f}{\frac{1}{4}f + 30} =$ á la fuerza mecánica de un pie cúbico (28,31 litr.) de agua convertida en vapor.

Es evidente segun esta ecuacion que no hay ventaja alguna en emplear en una máquina de alta presion la fuerza espansiva del vapor, cuando la fuerza de este es menor que 60 palgadas (152 cent.) de azogue, porque entonces el logaritmo hiperbólico es mas pequeño que $1 - \frac{\frac{1}{4} f + 30}{f}$

Cuando la máquina obra sin emplear la fuerza espansiva del vapor tenemos $4873 (459 \times t) + 1 - \frac{\frac{1}{4} f + 30}{f} =$ á la fuerza mecánica de 1 pie cúbico de agua convertida en vapor.

Ejemplo. La fuerza del vapor, suponiendo que sea de 120 pulg. de azogue (4 atmósferas), la temperatura correspondiente segun Mr. Taylor será de 292,8 grados del termómetro de Fabrenheit (118°9 Reamur). Asi $4873 (459 + 262,8) \times 1 - \frac{(\frac{1}{4} \times 120) + 30}{120} = 1830000$ libras levantadas á 1 pie (831818 kil. levantadas á 304 milim.).

La cantidad de carbon es $8,4 + 0,012 (292,8 - 212) = 9,37$ libras de carbon (4,26 kil.). Pero la fuerza de un caballo es igual á 16.000,000 libras levantadas á 1 pie (7272,27 kil. levantadas á 304 milim.) por tarea de 8 horas (1).

(1) $33000 \times 60 \times 8 = 15840000$ libras representan la fuerza de un caballo,

Pero 1830000 : 9,37:: 16000000 : 82. Asi empleando vapor de una fuerza de 44½ libras por pulgada cuadrada de émbolo sobre la presion atmosférica de la fuerza de 31 gramas por cada milímetro cuadrado de la superficie del émbolo podrá hacerse un trabajo equivalente á la tarea diaria de un caballo con 82 libras de carbon (poco mas de 37 kil.).

Pero si el trabajo de la máquina se hiciese por medio de la fuerza espansiva del vapor, en este caso 4873 (459+292°,8)+log. hip. 2 = 2500000 libras (1136000 kil.) levantadas á 1 pie (304 milim.) con 9,37 libras (4,28 kil.) de carbon, y por consiguiente 59 libras (menos de 27 kil.) de carbon bastarian para un trabajo equivalente á la tarea diaria de un caballo.

La tabla primera del último capítulo de esta obra indica la potencia de 1 decalitro de agua convertida en vapor de diferentes grados de fuerza, sea que se emplee por espansion de modo que produzca el maximo efecto, sea que se sirva uno de todo el vapor del golpe completo de émbolo: tambien sirve para conocer la cantidad de combustible consumida en ambos casos. Por medio de esta tabla, será fácil asegurarse de la cantidad de carbon equivalente á la tarea diaria de trabajo de un caballo.

Sin embargo no son aplicables estos resultados mas que á las máquinas que no cambian de sitio; y haciéndoles servir para una máquina loco-motriz es preciso, para que sean comparables directamente con la fuerza de 1 caballo, de sentar la fuerza empleada en mover el peso de la máquina misma. Asi que suponiendo que se haya hallado por el método anterior la cantidad de carbon correspondiente á la tarea diaria de un caballo, esta cantidad multiplicada por el peso del tren de carros que conduzca la máquina, y dividida por este peso, menos el peso de la máquina y del carro que la lleva, dará el peso del carbon que para una loco-motriz equivale á la tarea diaria de un caballo.

Supongamos que un tren de carros pesa 73 toneladas métricas, que la máquina que le conduce pesa con todo su aparato 8 toneladas métricas y que se haya hallado que son necesarias 37 kil. de carbon para el trabajo de una máquina fija

segun se calcula ordinariamente para las máquinas de vapor, pero segun nuestro cálculo es $\frac{1}{4}$ = menor. *Véase* una de las notas anteriores.

equivalente á la tarea de un caballo, entonces $\frac{73 \times 37}{73 + 8} = 41,55$ kilog. de carbon para el mismo trabajo con una máquina locomotriz.

Los apasionados á las máquinas de alta presion creerán tal vez que esta pérdida de efecto será compensada por el empleo que se hará del escedente de vapor para calcular el agua de la caldera; esto podria muy bien suceder porque con un aparato bien dispuesto se ahorrarian cerca de 5 kil. de carbon de cada 42 kil. El mejor método seria hacer pasar el vapor superabundante por unos tubos de mucha superficie hasta el depósito de agua que sirve para surtir la caldera, y que de todas maneras deberia ir colocado en el carro de la bomba; y despues de pasar por dichos tubos y atravesar por el depósito, deberia pasar á otros tubos pequeños de metal ó cajas formadas de medo que presentasen al aire la mayor superficie posible. El vapor condensado en estos tubos ó cajas caeria luego al depósito y la parte no condensada á su paso por los tubos saldria por la chimenea aumentando la corriente de esta.

Pero creemos que todo lo que podrá economizerse por este medio no será mas que un equivalente á la pérdida de calor que sufre la caldera, aun cuando se halla bien dirigida y resguardada con el mayor esmero. Es dificil arreglar la superficie sobre que debe obrar el calor, y por otra parte la corriente debe ser demasiado débil para producir el vapor á alta presion. Es de creer que si se generaliza mas el uso de tales máquinas, se venga á parar en el descubrimiento de que tiene cuenta agregarlas un fuelle y se sirvan todos de este instrumento. Otras causas de pérdida de efecto pueden aumentar un 30. por ciento las cantidades que hemos fijado, y hacer subir á 54 kilog. el carbon equivalente á la tarea diaria de un caballo para la máquina loco-motriz mas perfecta que pueda acaso inventarse. Las máquinas que sirven hoy dia en los caminos de hierro de Newcastle consumen por un término medio, á lo menos dos veces 54 kilog. para concluir el mismo trabajo.

6.° *Maximum de efecto útil en las máquinas de vapor.* Tenemos que indagar ahora el maximo de potencia como dependiente de la construccion de la máquina, porque cada bomba en particular debe tener su fuerza correspondiente al maximun de efecto. Si el émbolo pasase de cierta velocidad, es indudable que la caldera no podria surtirle de la cantidad

necesaria de vapor. Lo mismo sucederia si los tubos de paso del vapor fuesen mas chichos que lo que requiriese la fuerza de la caldera. Pero es evidente que el vapor debe ser capaz de seguir al émbolo cuando se mueve con su mayor velocidad lo que determina uno de los puntos mas importantes para establecer sus mútuas proporciones sobre principios teóricos. Examinemos, pues, las condiciones que limitan la velocidad del émbolo, es á saber, su movimiento y la estension de cada golpe que pega, cuando no hay otra resistencia mas que el rozamiento mismo del émbolo, y el vapor se halla en plena actividad y segun debe hallarse en el estado corriente del trabajo de la bomba. El movimiento del émbolo puede considerarse en estas circunstancias como un movimiento acelerado. Sea, pues, w el peso de la masa á la que el émbolo da la velocidad 2v al fin de cada golpe; P la presion sobre el émbolo en libras, y l la longitud del golpe en pico; tenemos entonces $60 \times 8 \sqrt{\frac{l\,P}{w}} = 2\,v$, ó $240 \sqrt{\frac{l\,P}{w}} = V$ á la velocidad media del émbolo por minuto.

Pero si la máquina anda bien gobernada el peso de la masa w arreglará la velocidad y la hará que sea uniforme al cabo de cierto tiempo: y para que esto pueda verificarse es preciso que $w = P$ por consiguiente $240 \sqrt{l} = V$. Pero ya hemos demostrado antes que la velocidad v correspondiente al máximo de efecto útil debe ser $= \frac{1}{2} V$. Luego $120 \sqrt{l} = v$ velocidad en pies por minuto que mas conviene á una máquina. Cuando el embolo de una bomba tiene 2 pies de salida $v = 170$ pies por minuto y el número de golpes del émbolo es igual á 170 pies divididos por 4 ó por el doble de la longitud de la salida del émbolo, es decir que habrá $42\frac{1}{2}$ golpes por minuto.

Llegando la salida del émbolo á 3,4 pies se logra una velocidad de 220 pies con 32 golpes de émbolo por minuto.

Si se varia el maximo de potencia la diminucion de efecto á la misma que respecto á la fuerza del caballo, (véase el párrafo 2.° de este capítulo); pero hay con una bomba esta ventaja y es que puede construirse para toda especie de velocidad, proporcionando para eso sus piezas del modo conveniente, cuando las del caballo no pueden variar.

Las aberturas para el paso del vapor, la superficie espuesta al fuego, el tamaño del hogar y area de la chimenea, debe ser

proporcionado para duplicar la bomba su efecto ordinario.

7.° *Máquinas loco-motrices de baja presion.* Las razones que hacen mirar como poco útil el uso de las bombas de baja presion para tirar de los carros estan fundadas en la complicacion del aparato y peso del agua necesaria para la condensacion. El volumen de la máquina, la estension que tiene que ocupar, y la inmensa cantidad de agua que necesita para la condensacion, hacen muy probable que jamas puedan usarse estas con ventaja para el objeto. Nada menos que media tonelada de agua por hora se necesitaria solo para la condensacion del vapor equivalente á la fuerza de un caballo. No hay, pues probabilidad alguna de que las máquinas de condensador puedan servir para loco-motrices, y asi es ocioso hablar aqui mas de ellas.

8.° *Máquinas de gas.* Se ha propuesto poco tiempo hace un nuevo medio de poner en movimiento los carros, del cuál no podemos menos de hacer mencion, pues ha escitado vivamente la curiosidad pública.

La fuerza de esta nueva máquina se desarrolla quemando gas en un cilindro, de manera que se enrarezca mucho el aire que se encuentra encerrado en él. Verificado esto, se enfria y la diferencia que resulta entre la presion de la atmósfera y la elasticidad del aire del cilindro es lo que constituye la fuerza motriz. Se ha pretendido probar que esta fuerza resulta de que los productos de la combustion se encuentran condensados y reducidos á un volúmen mas pequeño que el que antes ocupaba el combustible, pero esta esplicacion es insuficiente para dar razon del efecto producido.

El principio de la accion de esta máquina puede aclararse fácilmente por una esperiencia muy sencilla. Hágase quemar un pliego de papel bajo un vaso puesto boca abajo, de manera que la llama bañe bien toda su capacidad, y sumerjase inmediatamente el borde del vaso en una vasija de agua. Resultará que el aire caliente será condensado por el agua y se recogerá á ocupar un espacio igual al tercio de la cabida del vaso poco mas ó menos, entretanto que el agua de la vasija subirá y llenará parte del vaso hasta que el aire contenido en él tenga la misma elasticidad que la atmósfera.

Mr. Brown que es el inventor de la máquina de gas, produce un efecto semejante quemando gas en un cilindro metálico; y por medio de la llama del gas y un aparato ingeniosísimo, saca de este fenómeno tan conocido una fuerza mecánica muy considerable. Veamos si tal fuerza podrá ó no lle-

gar á ser útil como motor de máquinas loco-motrices para tirar de carruages.

Supongamos á fin de verificar el grado de rarefaccion del vacío en el cilindro que x representa la temperatura de la llama, siendo la primera del aire en el cilindro de 50° del termómetro de Ft. (8.° Reaomur). Entonces $\frac{450+x}{500}$ = al volumen del aire enrarecido, y cuando la presion de la atmósfera es de 76 centimetros, tenemos $1 : \frac{500}{450+x} :: 76 : 76\left(\frac{500}{450+x}\right)$ = á la fuerza del aire que queda en el cilindro cuando se enfria á 50° de Fahrenheit; por consiguiente $76\left(1-\frac{500}{450+x}\right) = \frac{76\,(x-50)}{450+x}$ = á la fuerza sobre el émbolo en centimetros de azogue, sin rebaja por el rozamiento ó cualquiera otra causa de pérdida de efecto. Si la temperatura de la llama es de 1050° (452°,4 Reaomur) lo que no seria dificil dársela, $\frac{76\,(1050-50)}{450+1050}$ = 50,66 centimetros de azogue por lo que hace á la fuerza del émbolo sin deduccion del rozamiento y demas.

Indaguemos ahora cuál es el gasto de gas necesario para producir una cantidad determinada de fuerza mecánica. Llamemos b el número de decimetros cúbicos de gas que harian subir un grado del termómetro de Fheit. la temperatura de un decimetro cúbico de aire, entonces bx = al volumen de gas que elevará x grados la temperatura de un decimetro cúbico de aire, y $\frac{1000}{bx}$ = al volumen de aire que seria calculado por 1000 decimetros cúbicos de gas.

Luego $\frac{1000\times 76\,(x-50)}{bx\,(450+x)}$ = á la fuerza mecánica de 1000 decimetros de gas sin rebaja por rozamiento y demas.

Pero esta ecuacion tiene un máximo, y si se hace x variable y su diferencia = 0, se encuentra x = 208°. Asi se conseguirá la mayor fuerza mecánica cuando la temperatura del aire enrarecido sea de 208° (78,°2 Reaomur) y haciendo el

cálculo conforme á este máximo, se halla un poco mas de $\frac{87}{b}$ por lo que hace á la fuerza mecánica de 1000 décimas de gas en centímetros de azogue, sin rebaja de rozamiento. Siendo el peso de un centímetro de azogue 1,3598 kilog. las kilógramas levantadas á un decímetro de altura, suponiendo que no hubiese rozamiento, serian $\frac{119,27}{b}$, por 1000 decímetros cúbicos de gas.

El máximo de temperatura seria diferente si se hiciese la reduccion conveniente por el rozamiento: seria menor el efecto pero basta para nuestro propósito tener una estimacion aproximada á la fuerza.

Si se gastase el gas del aceite muy puro tendriamos segun las esperiencias de Mr. Dalton copiadas en la química de Thomson $\frac{1}{41040}$ por el valor de b, lo que da cerca de 4961000 kilog. levantadas á un decímetro pero la fuerza mecánica de 1000 decímetros cúbicos de gas del aceite no equivale á la 5.ª parte de la fuerza de un caballo para el servicio de una máquina, aun cuando se la suponga á ésta libre de todo rozamiento. Luego seria demasiado costoso este gas para la conduccion de mercancías por los caminos de hierro.

Si se gastase gas del carbon de piedra, su efecto seria aun mal débil que el del hidrógeno carbonoso puro: y por lo que toca á este gas $b = \frac{1}{22800}$ segun Dalton, lo que daria 2726400 kilog. levantadas á un decímetro por la fuerza mecánica de 1000 decímetros cúbicos de gas obrando en una máquina sin rebaja de rozamiento, y no correspondiendo esta cantidad mas que á la 8.ª parte del efecto útil de un caballo, es bien claro que la máquina de Mr. Brawu seria demasiado cara en cualquier lugar y tiempo que hubiese caballos de que echar mano. En una máquina de esta especie no se puede pasar por menos de un tercio de pérdida de la fuerza calculada á causa del rozamiento y calor que se consume sin provecho alguno, lo que reduce la fuerza de 1000 decímetros cúbicos de gas estraido del aceite á 3307000 kilog. levantadas á un decímetro, y la de 1000 decímetros del gas de la hornaguera á cosa de 1807000 kilog. idem. Estas

máquinas son tambien mas complicadas que las de vapor de alta presion, y en caso de llegar á hacerlas servir como máquinas loco-motrices, seria preciso que el gas fuese comprimido en ellas hasta $\frac{1}{30}$ de su volumen natural, y por consiguiente que espusiese á los riesgos de una esplosion.

Antes de cesar sobre este punto de las máquinas locomotrices, haremos observar que tendrán siempre un gran inconveniente en un camino de hierro destinado al servicio general en que se las quiera dar una gran velocidad, porque es imposible multiplicar en este caso los tránsitos para atravesar el camino, de manera que un solo carruage que caminase despacio por un camino de atos podria obligar á todos los demas á disminuir su velocidad; y no solamente resultará este perjuicio sino tambien el riesgo de darse los carros terribles encontrones. Un barco de vapor puede hacerse á un lado cuando y como convenga, como que se mueven en el agua; una silla de posta tiene toda la anchura de la carretera para apartarse lo que se quiera, pero un carro de vapor no puede salir de su carril para evitar un choque y desgracia. Veamos ahora lo que son las máquinas estables, y si pueden darnos mas esperanzas de ver emplear con ventaja y seguridad la potencia del vapor en los caminos de hierro.

9.° *Máquinas fijas ó estables.* Figuremos un camino dividido en paradas muy cortas y que en cada una de ellas se coloca una máquina de vapor que haga mover una cadena sin fin la cual alcance á toda la estension de uno ó mas paradas, y vaya dando sus vueltas sostenida de poleas ó rodillos; figurémonos ademas que meneando sencillamente un brazo de palanca guarnecido de un aparato de rozamiento se enganche un carro á la cadena y le haga adquirir en pocos segundos la velocidad de la misma ó desengancharse en el momento si fuese necesario. Las consecuencias de esta disposicion serian que todos los carros enganchados asi á la cadena, andarían hácia delante con la misma velocidad, y por consiguiente jamas podrian chocar unos con otros. Podriase hacer caminar asi al mismo tiempo un número de carros proporcionado á la fuerza de la máquina, porque el encargado á ella podria arreglarla para un cierto número de carros de modo que conservase siempre la misma velocidad ó casi la misma. Las máquinas podrian ser mas perfectas, mejor conservadas y confiadas á hombres mas seguros que los que pueden destinarse á una loco-motriz sea la que se fuese.

Calculemos ahora la estension á que podria transmitirse el

movimiento mediante una cadena sin fin sostenida sobre rodillos. El mayor esfuerzo que se ha hecho aguantar á una cadena es igual al peso de una media milla (800 metr.) de lo largo de la misma cadena; por consiguiente el peso de la cantidad de cadena necesaria para el servicio de una milla seria igual á dos veces la fuerza motriz de la máquina (1). Pero si los rodillos estan bien hechos y colocados y hay la proporcion debida entre su diámetro y su eje, el rozamiento apenas llegará á $\frac{1}{100}$ del peso de la cadena, por consiguiente $\frac{2}{100}$ ó $\frac{1}{50}$ de la fuerza motriz será perdido en andando la cadena cuando las máquinas esten á una milla de distancia. Habrá una pérdida de $\frac{1}{25}$ de la fuerza si las máquinas estan á dos millas, y la pérdida irá asi en aumento á medida que sea mayor la distancia entre las máquinas, de manera que si estuviese una máquina á 50 millas toda la fuerza se gastaria en hacer mover la cadena, porque por grande que fuese la potencia que se la diese, no produciría otro efecto que el de hacer sobre la cadena un esfuerzo superior al que hemos dicho no se debe llegar.

La mayor distancia que debia adoptarse en la práctica entre dos paradas puede fijarse de 8 á 10 millas (de 12800. á 16000 metr.) y á esta última distancia la pérdida de fuerza será de $\frac{1}{5}$.

Dejase conocer que un sistema que exige una máquina de 10 en 10 millas de distancia solo puede convenir á un camino de hierro establecido para un tráfico muy vasto; y es indudable que probaria bien en una línea de tránsito en que la abundancia de mercancias y afluencia de viajantes fuese bastante para costear los gastos de una empresa semejante. El mismo principio general de movimiento obraría en todos los trozos del camino, bien estuviera á nivel bien se subiese ó se bajase. Habria una cadena para hacer correr los carruages ligeros con toda la velocidad conveniente, y otro segundo camino de hierro de doble carril para los carros de tráfico que serian juntos en movimiento por otra cadena cuya accion fuese mas lenta.

(1) La máquina debe tirar de la cadena segun las dos direcciones, pues de otra suerte seria preciso que las paradas estuviesen la mitad mas cerca porque la cadena debe ser doble.

Los gastos primeros de un establecimiento asi, no se diferenciarian cosa mayor, tanto en máquinas loco-motrices como en las estables para uno ú otro sistema; pero los gastos anuales serian mucho mayores para las loco-motrices. La mayor dificultad consistiría en la interrupcion de la línea por otros caminos que la atravesasen, pero esta se remediaria en parte, escogiendo una direccion á propósito y estableciendo las paradas en los mismos sitios en que el camino fuese cortado por los otros.

9.° *Potencia de las máquinas de baja presion.* Hemos hecho ver mas arriba que la fuerza de una máquina de vapor es $4873\ (459 + t) \times \text{log. hip.}\ \frac{f'}{f}$ á lo sumo y cuando obra por espansion del vapor, y que es $4873\ (459 + t) \times (1 - \frac{f'}{f})$ cuando obra á toda presion.

Si queremos determinar ahora el valor de f' debemos tomar razon del vapor que no se condensa y del rozamiento de la bomba de aire. Cuando el rozamiento de la bomba de aire está reducido al efecto del émbolo de vapor, no puede regularse en menos de una pulgada (25 milim.) de azogue. Supongamos que la fuerza del vapor no condensado sea de 3 pulgadas (76 milim.) de azogue, y el rozamiento del émbolo de vapor sea $= \frac{1}{4} f$, segun hemos determinado anteriormente, entonces $f' = \frac{1}{4} f + 4$ (1) y $4873\ (459 + t) \times \text{log. hip.}\ \frac{f}{\frac{1}{4} f + 4} =$ al número de libras levantadas á un pie por la mayor fuerza de un pie cúbico (28,316 litr.) de agua convertida en vapor de la temperatura t, y de la fuerza f en pulgadas de azogue.

Ejemplo. Sea la fuerza del vapor igual á 35 pulgadas (889 milim.) ó de $2\frac{1}{2}$ libras (1,1 kilog.) sobre la presion de la atmósfera en la caldera. La temperatura correspondiente es de 220° de Ft. (83,5 Reaomur); y $4873\ (459 + 220)$ log. hip. $\frac{35}{8{,}75 + 4} = 3350000$ libras, levantadas á un pie por un pie cúbico de

(1) Naturalmente nos preguntará todo práctico cuantas libras da esto por cada pulgada cuadrada por lo que hace á la presion efectiva sobre el embolo. El número de pulgadas de azogue es $f - (\frac{1}{4} f + 4) - 22\frac{1}{4}$, ó muy cerca de 11 libras (5 kil.) por una pulgada (645 milim.) cuadrada por lo que hace á la presion entera.

agua convertida en vapor, lo que equivale á 163366 kilog. levantadas á un decimetro de altura por un litro de agua reducida á vapor.

La tabla segunda del último capítulo de este tratado ha sido calculada sobre esta base, esperaremos que nuestros lectores hallen en la reunion de estas tablas lo necesario para formarse una idea bastante cabal de la fuerza que produce el combustible y la cantidad del que consumen las máquinas de vapor.

El máximo de velocidad para una máquina de baja presion tiene la misma relacion con la longitud de salida del émbolo que con respecto á una de alta presion. No hemos tratado de determinar las variaciones que se verifican en una y otra máquina, cuando obran por espansion, mas no pueden ser cosa mayor.

CAPITULO V.

De los carruages, ruedas y ejes de estas para los caminos de hierro; de sus dimensiones y resistencia; altura de la carga; modo de enganchar los caballos, y medios de evitar desgracias.

Los carros que se usan en los caminos de hierro se construyen con mucha solidez para poder resistir á los vaibenes á que estan espuestos á cada variacion de velocidad, y para aquellas partes que se tocan unas con otras es preciso echar piezas sólidas que sobresalgan un poco del carro, guarneciéndolas de zunchos de hierro para que no se rajen. Pero los carruages para viajeros y aquellos que han de llevar mercancias delicadas y quebradizas, deben montarse sobre muelles para disminuir el traqueteo.

El peso de los carros varia mucho segun los diferentes caminos de hierro; á veces llega á la mitad del peso total, otras no es mas que su tercio; pero es bastante fácil ver que cuando las ruedas no tienen mas que un metro á 1,2 de diámetro, la proporcion puede reducirse á $\frac{1}{4}$ y aun todavia es bastante fuerte. En este caso siendo la carga de 3 toneladas, el carro pesará uno lo que haria en todo 4 toneladas.

Déjase conocer segun esto que los carrillos vienen á ser mas pesados y costosos á proporcion que los carros grandes; mas como el esfuerzo que se ejerce sobre las ruedas en un camino de hierro debe tener sus límites regulares, apenas pue-

den hacerse carros mas grandes sin aumentar el número de las ruedas.

1.° *Carros de* 8 *ruedas.* Cuando un carro tiene mas de 4 ruedas debe ser sostenido de modo que pueda ser repartida igualmente la presion entre todas ellas. En el caso que se pongan 8 ruedas á cada carro si el armazon de este se apoya sobre los dos juegos delantero y trasero, cada uno de los cuales lleva sus dos pares de ruedas (*véase* la fig. 26) y se enlaza de modo que permita pasar por cualquiera punto del camino en que haya diferencia de nivel, es claro que cada rueda aguantará una presion igual. Si se quitase uno de los juegos de á 4 ruedas y se reemplazase por un eje con dos, quedaria el carro con 6 y seria fácil arreglar la carga de modo que la presion fuese igual sobre cada par de ruedas.

Por este órden podrian hacerse carros capaces de llevar hasta 6 y 8 toneladas sin exijir gran gasto de hierro para la construccion del camino. Una cabida menor que la de 6 toneladas seria muy incómoda porque los carrillos comunes se llegan á atestar muchas veces con los fardos voluminosos, sin recibir la carga competente; y asi el tamaño de un carro destinado á las conduciones del comercio general no debe ser inferior al de los grandes carromatos de tráfico.

La carga que pesa sobre cada rueda debe arreglarse y limitarse á la fuerza de los carriles de hierro: rara vez debe cargarse mas de dos toneladas por cada rueda, y nunca menos de media tonelada. El grueso de los ejes debe variar por consiguiente desde 2,2 pulgadas hasta 3,3 (de 56 á 88 milim.). La carga mas acomodada seria la 1¼ tonelada por rueda (cerca de 1300 kil.) lo que pediria un eje de 3 pulgadas (76 mil.) de diámetro.

2.° *Dimensiones de las ruedas y ejes.* Hemos hecho ver en el capítulo 3.° que las ruedas grandes son las mas ventajosas en cuanto al efecto; pero su diámetro en la práctica, debe limitarse de 13 á 15 decímetros cuando son de hierro colado y aun cuando son de madera con sus llantas de hierro. No se puede esceder de este tamaño sin hacerlas pesadísima, y la pérdida de efecto causada por el peso de una rueda llega á ser enorme en las cuestas arriba, aunque es favorable en las bajadas. En un camino á nivel la fuerza necesaria para hacer mover una rueda pesada no es cosa y las dimensiones que se les señalan se fundan en las proporciones mas convenientes para la fuerza y duracion. Una rueda de 15 decímetros de diámetro es la mayor que nos parece pue-

da usarse sin imprudencia, y debe hacerse del hierro de fundicion mas duro; se debe tambien fundir con mucha precaucion para impedir el efecto de la contraccion sobre sí misma al tiempo de enfriarse, pues si una rueda de estas demasiado grandes llegase á faltar por la desigualdad de tension, las consecuencias pudieran ser muy sérias cuando los carros caminan con mucha rapidez. Se disminuiria algo el riesgo de una averia semejante acomodando á los carros una especie de pie colocado de suerte que en cuanto faltase una rueda, se encontrase sostenido el carro por el, y solo cayese algunas pulgadas de su posicion.

No es de esperar que puedan hacerse ruedas de madera bastante fuertes para llevar un peso de dos toneladas, á no ser que se las dé tanto peso como á las de hierro, y entonces nada se iria á ganar y tendrian el inconveniente de ser menos durables que ellas.

Es fácil dar á las de hierro colado las proporciones necesarias en todas sus partes para resistir á una presion determinada, pero de todos modos cuando se hagan debe contarse siempre como si hubieran de tener que aguantar una presion doble. El método mas sencillo es considerar sus piezas como prismas sólidos rectángulares y despues de determinar su volumen, repartirle en la figura y forma de la mayor resistencia. Se hallará la fuerza de la circunferencia de las ruedas por la regla 2.ª artículo 108 del ensayo sobre la fuerza del hierro colado. La distancia entre los rayos y la fuerza de éstos pueden determinarse por la del artículo 236 y la distancia de la direccion de la fuerza no puede casi ser mayor que el grueso de los rayos. La forma de seccion mas ventajosa para los rayos se ve en la fig. 25, pues reune el doble mérito de poderse moldear fácilmente y tener la menor cantidad posible de materia reunida en el eje neutro de los rayos. Un ejemplo del uso de estas reglas hará mas fácil la operacion para aquellos que no acostumbran hacer á menudo semejantes cálculos.

Una rueda de 15 décimas de diámetro debe tener 12 rayos. Supongamos que la carga que lleve sea de 1¼ tonelada, cuando la presion sea igual sobre las 2 ruedas, entonces el mayor peso que pueda cargar sobre ella será de 2½ toneladas ó 5600 libras. Cada rayo debe poder resistir á esta presion, y si se consideran los rayos como un prisma cuadrado, y la distancia de la direccion de la fuerza es igual al aldo del prisma, lo que es con corta diferencia el límite estremo á que puede llegar, entonces la regla que acabamos de citar se reduce sen-

cillamente á esto: pártase la presion en libras por 2200 y el cuociente será la area del rayo en pulgadas inglesas. Dicha area puede disponerse en la forma mas á propósito para la fuerza, y como un preservativo contra los defectos de la fundicion etc. Luego, siendo la carga de 5600, tenemos $\frac{5600}{7200}$ = 2,55 pulgadas de area; la raiz cuadrada de este número es 1,6 de pulgada (40 milim.) para lado de la seccion.

La circunferencia de la rueda sera de 15,5 pies ingleses (4,7 metr.) al diámetro medio de la llanta; asi la distancia entre los rayos á la llanta será de 1,4 pie poco mas ó menos (mas de 4 decim.) y como la longitud multiplicada por la presion en libras y dividida por 850 veces el ancho del calce de la rueda, es igual al cuadrado de su grueso, si se supone que la anchura es de 4 pulgadas (101 mil.) tendremos $\sqrt{\frac{1,4 \times 5600}{4 \times 850}} = 1,52$; asi el metal distribuido en la forma conveniente para formar las llantas de la rueda debe tener 1,52 pulgadas (cerca de 39 milim.) de grueso.

Y debiendo ser el hierro de las llantas igual en cantidad á $4 \times 1,52 = 6,08$ pulgadas; y teniendo la circunferencia 15,5 pies, el peso de las llantas de 300 libras (136 kil.); el de los rayos y del cubo será de 245 lib. (111 kil.) y el peso total de la rueda 545 libas (casi 248 kil.).

El peso de una rueda de 10 pies de circunferencia que tuviera que llevar la misma carga seria de 291 libras si tenia 10 rayos y el ancho de las llantas era de 4 pulgadas.

Las ruedas para los caminos de carriles planos pueden calcularse del mismo modo. Su peso no será tanto, porque no necesitan tanta anchura en la circunferencia como las ruedas de carriles estrechos. Para estos caminos el ancho conveniente es de dos pulgadas (50 milim.) poco mas ó menos por cada tonelada de carga sobre cada rueda.

Con dos ruedas de 5 pies (152 cent.) de diámetro para los caminos de carriles estrechos, el peso del carro será un poco mayor que el cuarto del peso total, inclusos el carro y la carga. Con ruedas de 4 pies 6 pulgadas (137 cent.) se puede reducir á $\frac{1}{4}$.

Si el peso total es de 5 toneladas ó pesando $1\frac{1}{4}$ toneladas, el carro estuviese cargado con $5\frac{1}{4}$ toneladas, los ejes tuviesen 3 pulgadas de diámetro, las ruedas 54 pulgadas y el ro-

zamiento fuese igual á la 8.ª parte de la presion, tendremos $\frac{3}{54 \times 8} = \frac{1}{144}$ del peso para la fuerza que tire del carro cargado por un camino á nivel; que viene á ser 78 libras poco mas ó menos, ó cosa de 35 kilogramos.

Si los ejes ajustasen bien y se mantienen en buen estado, la relacion del rozamiento con la presion puede que no llegue á mas de $\frac{1}{192}$ y entonces el mismo carro podrá ser tirado por $\frac{1}{216}$ de su peso, ó por una fuerza de 23 á 24 kilog. Pero $\frac{1}{192}$ es el menor rozamiento que hemos observado y en circunstancias mas favorables que las que ocurren con los carros ordinarios, porque no podiamos sacar nuestros ejemplos de esperiencias ejecutadas con mas esmero. Mas como se han hecho muchos esperimentos sobre la fuerza necesaria para mover los carros en los caminos de hierro nos es fácil compararlas con nuestros propios resultados.

3.º *Comparacion de sus resistencias con la esperiencia.* Los señores Stephenson y Wood, parece que han verificado por la esperiencia que un carro cargado con 8540 libras (3927 kilog.) no necesita mas que una fuerza de 49 libras (22,27 kilog.) para ponerse en movimiento. Es algo menos de $\frac{1}{174}$ del peso; pero los ejes de su carro tenian 3 pulgadas (76 milim.) de diámetro y las ruedas 3 pies (91 cent.). Segun esto la relacion del rozamiento á la presion seria solo de $\frac{10}{145}$ ó menos de $\frac{1}{14}$.

En una de las esperiencias que hemos citado al principio, la relacion de la fuerza á la carga es de $\frac{1}{176}$. Es muy verosimil que los carros fuesen semejantes, aunque los ejes fuesen mas pequeños, porque el carro de la esperiencia anterior, se dice pesaba 2604 libras. (1183 kilog.).

Podemos inferir que estos resultados no son á propósito para dar á conocer la resistencia media que se verifica en un camino de hierro.

Otra esperiencia que tambien citamos y se hizo en el camino de Penrhyn, da $\frac{1}{87}$ por lo relativo á la fuerza con la carga. Las ruedas tenian 14 pulgadas (555 milim.) de diámetro, y los ejes $1\frac{1}{4}$ pulg. probablemente (38 milim.) y en tal caso la relacion del rozamiento á la presion era de $\frac{1}{39}$. La parte del tren de carros que conducia un caballo en dicha esperiencia de Penrhyn era como sigue: en géneros 12 toneladas, en peso de los carros $2\frac{1}{2}$ idem total $14\frac{1}{2}$ tonel. ó 32500

libras (14772 kilog.) El seno de la inclinacion era $\frac{1}{96}$: y asi conforme á la regla que dimos para la bajada en los caminos de hierro inclinados $32500\left(\frac{1}{87}-\frac{1}{96}\right) = 35$ libras ó 16 kilog. poco mas ó menos en cuanto á la fuerza que conducia las 32500 libras á la bajada.

Para hacer subir los carros vacios por dicho camino, la fuerza debe ser $2\frac{1}{2}$ toneladas ó 5600 libras $\left(\frac{1}{87}+\frac{1}{99}\right) = 123$ libras (56 kilog.) con corta diferencia, lo que prueba que en la construccion de este camino no se tomó el ángulo mas conveniente de inclinacion. El tiro medio de un caballo es en una pendiente asi de $\frac{35+123}{2} = 79$ libras (casi 36 kilog.) y la distancia corrida al dia es de unas 15 millas (24 kilom.). Pero como este trabajo es notablemente inferior á la fuerza media de un caballo, debemos inferir de aqui que la resistencia es algo mayor que lo que indica la esperiencia.

En el camino del condado de Surrey el diámetro de las ruedas es de 32 pulgadas (81 centim.) y el de los ejes $2\frac{3}{4}$ pulgadas (60 mil.); tenemos, pues, $\frac{2\frac{3}{4}}{8\times 32} = \frac{1}{108}$ por el rozamiento en el eje; y suponiendo que la resistencia sobre el camino mismo no sea mas que la 5.ª parte de esta cantidad, la resistencia total será $\frac{1}{108}+\frac{1}{540} = \frac{6}{540} = \frac{1}{90}$. Luego la fuerza necesaria para tirar de 12 carros por una inclinacion de una parte por 120 como es la de este camino, será de $85568\left(\frac{1}{90}-\frac{1}{120}\right) = 241$ libras, lo que es demasiado para que un caballo valiente pueda sufrir esta fatiga durante un corto espacio de tiempo. Es muy verosimil que hayamos valuado el rozamiento sobre el carril mas alto que lo que debia ser. Pero, pues, un caballo conduce un carro cargado con 3 toneladas, lo que hace un peso total de unas 4 toneladas podemos, valiéndonos de los mismos datos, indagar qué fuerza necesita emplear para subir por una cuesta

de la misma inclinacion. Nuestra regla da 8960 $\left(\frac{1}{90} + \frac{1}{120}\right)$ = 176 lib. (80 kilog.); esta debe ser poco mas ó menos la verdadera resistencia; asi podemos tener por bastante aproximado á la verdad, el que la resistencia en los carriles en un camino de carril ancho es cosa de la 5.ª parte de la resistencia en el eje de las ruedas. Si tomásemos la relacion de $\frac{1}{60}$ en vez de $\frac{1}{90}$ la resistencia seria entonces mayor que la que los caballos tienen que superar al parecer.

Se han hecho otras muchas esperiencias sobre el efecto producido por los caballos en los caminos de hierro, pero son todas defectuosas por no espresarse la relacion de las ruedas con los ejes (1). De todos modos ha podido verse por la comparacion de las anteriores que la relacion del rozamiento á la carga, cual nosotros la hemos sentado, apenas se aparta de la que da la practica.

4.° *Altura de la carga y desigualdad de ruedas.* No debemos perder de vista en la construccion de los carros que la carga debe colocarse lo mas bajo que sea posible; sobre todo cuando los planos inclinados tienen mucha pendiente, porque entonces una carga alta produce una presion muy desigual sobre las ruedas, y por consiguiente sobre los carriles que las

(1) El Repertorio de Artes tomo 13 trae algunas esperiencias hechas en 1799 por Mr. Wilkes de Measham sobre las cargas que un caballo puede llevar por un camino de hierro. Un caballo tiraba bajando de 21 carros cargados de carbon, cuyo peso era de $37\frac{1}{2}$ toneladas. La pendiente era de una parte sobre 115 y el caballo la bajaba fácilmente. El mismo caballo tiraba fácilmente, subiendo, de la 7.ª parte de la misma carga ó 5,36 toneladas. Ahora bien, si suponemos en ambas direcciones la misma fuerza de tiro, hallaremos por lo que hace al rozamiento $\frac{n+1}{115\,(n-1)} = \frac{7+1}{115\,(7-1)} = \frac{1}{86}$ es decir que la resistencia causada por el rozamiento era igual á $\frac{1}{86}$ de la carga. Y por lo respectivo á la fuerza de tiro $37\frac{1}{2}$ tonel. ó 84,000 $\left(\frac{1}{86} - \frac{1}{115}\right)$ = 245 libras (110 kil.). El mismo caballo subia con 3,2 toneladas por una pendiente de 2 partes por 41. Asi se hallaba en estado de hacer un esfuerzo de tiro igual á 7168 $\left(\frac{1}{86} + \frac{2}{41}\right)$ = 430 libras (195 kilogr.) y en esta esperiencia fue preciso atar las ruedas: la carga era, pues, la mayor que podia arrastrar el caballo.

En otra esperiencia hecha en la mina de Brinsley por Mr. Wilkes el rozamiento calculado del mismo modo es de $\frac{1}{76}$. Estos son unos resultado del último esfuerzo que puede hacer un caballo, y no sirven para otra cosa que manifestar cuál es el mayor efecto que puede producirse durante algunos momentos, cuando el caso lo requiere.

sostienen. Si el centro de gravedad de la carga va levantado sobre el nivel de los ejes otro tanto como la mitad de la distancia que hay entre los ejes, todo el esfuerzo de la carga recaerá sobre las ruedas mas bajas en un plano cuya inclinacion sea de 45 grados, como se ve en la fig. 27. Asi que si se quiere aliviar á los caballos en las cuestas arriba, es ventajoso que las ruedas traseras sean mas grandes que las delanteras, porque entonces el esfuerzo mayor se hace sobre el par de ruedas que sufre menos rozamiento, y al contrario en las cuestas abajo las ruedas pequeñas que sufren la mayor resistencia, son las que llevan entonces la mayor parte de la carga. Por esta disposicion puede conducir un caballo un carruage por cuestas en que de otra suerte seria arrastrado por él. En las carreteras reales es todavia mayor la ventaja de las ruedas desiguales; porque en un camino á nivel la direccion del tiro disminuye la presion sobre las ruedas delanteras; y teniendo siempre todo el efecto de su mayor rozamiento en las bajadas, los caballos mantienen el carruage en la direccion mas conveniente para aumentar dicho efecto.

5.° *Distancia entre los ejes, y modo de enganchar.* Cuando es conocida la inclinacion de la parte mas pendiente de un camino, puede determinarse la proporcion entre la altura del centro de gravedad y la distancia entre los ejes, de manera que la presion sobre las ruedas menores sea igual á una determinada cantidad. Asi si se quiere limitar á los $\frac{2}{3}$ de la carga es preciso multiplicar el denominador de la fraccion que representa la inclinacion por la distancia entre los ejes, y la sesta parte del producto será la altura á que el centro de gravedad de la carga podrá levantarse sobre el nivel de los ejes, antes que la presion sobre las ruedas menores sea igual á los $\frac{2}{3}$ de la carga (1). Si por ejemplo la inclinacion fuese de $\frac{1}{3}$, es decir,

(1) La presion del eje de las ruedas menores será $= \frac{W \times AC}{AB}$ (figura 28); pero $AC = \frac{1}{2} AB + h \text{ tang. } i$, de que se infiere $\frac{W \times AC}{AB} = W \left(\frac{1}{2} + \frac{h \text{ tang. } i}{AB}\right)$ que no debe ser mayor que n W. Por consiguiente debemos tener $\frac{1}{2} + h \text{ tang. } i = n$, ó $\frac{n - \frac{1}{2} AB}{\text{tang. } i} = h =$ á la altura del centro de gravedad sobre el nivel de los ejes, y el eje mas bajo sostendrá siempre el esfuerzo total de la carga cuando $\frac{AB}{2 \text{ tang. } i}$ sea igual á h. Por ejemplo, para 45° la tangente igual 1 y $\frac{AB}{2} = h$. Cuando $n = \frac{2}{3}$ $\frac{AB}{6 \text{ tang. } i} = h$.

de una parte perpendicular por 5 partes horizontales, y la distancia entre los ejes fuese de 122 centimetros, entonces $\frac{5 \times 122}{6}$ = 101,6 centimetros. Viene á ser algo mas de un metro por lo que toca á la altura del centro de gravedad de la carga sobre el nivel de los ejes, cuando la presion sobre las ruedas menores no es mas que los $\frac{2}{3}$ de la carga.

Cuando en un camino de hierro son caballos los que tiran deben engancharse los tirantes, de manera que el tiro se haga hácia arriba; esta direccion dá á la fuerza de los caballos para hacer andar un carro hácia delante la misma ventaja que se lograria enganchando bajo el nivel de los ejes, si se usasen ruedas altas fig. 28.

Cuando los carros tirados de caballos hayan de correr con demasiada velocidad, es necesario que vayan otros detras ó al lado del carro para evitar cualquier desgracia posible. Quizás se lograria igual seguridad si la lanza del carro empujase por medio de una pieza de madera ó de hierro sobre la circunferencia de las ruedas, al momento que cejase el caballo.

6.° *Diferentes especies de ejes.* Examinemos ahora la naturaleza de los ejes. Cuando el camino es derecho es indiferente que los ejes den vuelta ó que se hallen fijos; pero segun advirtió en su física el Doctor Yonug, siempre que el movimiento se aparte de la línea recta, las ruedas que estan sujetas y fijas sobre un eje sencillo, deben ser impelidas la una hácia delante y la otra hácia atras. Creemos, pues, que vale mas que las ruedas den vueltas sobre ejes fijos, porque tanto las ruedas como las barras que forman el carril de las partes curbas del camino estan menos espuestas á rompimientos, y tambien se necesita menos fuerza por este órden, cuando por otro sea la que se fuese la disposicion que se les de, es imposible que deje de perderse alguna fuerza á causa del rozamiento lateral contra los bordes del camino.

Siendo importantísimo que las ruedas no puedan escaparse de los ejes se han imaginado mil medios de mantenerlas en ellos con seguridad. Uno de los primeros requisitos de todo buen método de esta especie, es la sencillez: es preciso que sea fácil de comprender y difícil de ejecutar mal, y como la rueda debe mantenerse en su posicion por un mayor ó menor rozamiento contra las partes destinadas á este fin, es evidente que los puntos de rozamiento deben hallarse lo mas cerca po-

sible del centro de movimiento. Estos requisitos nos obligan á reconocer al golpe por malos ó impropios algunos de los medios que se han propuesto para este fin, aunque no dejen de llenar el objeto de seguridad que se busca.

Parece que no se ha encontrado aun cosa mas segura y sencilla que la pezonera ordinaria, si se esceptuan esas otras invenciones que obran á mayor distancia del centro de movimiento. Las que al modo de la pezonera, tienen la propiedad de obrar cerca del centro son demasiado caras para carros comunes, y no pueden ser útiles sino cuando se necesita un grado considerable de velocidad.

Las ruedas sujetas por una pezonera pueden estarlo de un modo mas seguro, añadiéndola la especie de fiador inventado por Mr. Padbury y cuya descripcion se lee en el tomo 31 de las Transacciones de la sociedad de Artes. El mismo principio es el que se ha aplicado nuevamente para sujetar las ruedas á los ejes. Aunque poco á propósito para este objeto á causa de que pone la superficie que sujeta á mucha distancia del eje; sin embargo, su forma es muy conveniente para servir de una especie de salva-guardia que impida escaparse la rueda del eje, en caso que la pezonera se rompa ó se pierda. Hemos representado esta invencion tal cual se ha ejecutado en las minas de hornaguera de Ayr, pero con una leve variacion en la fig. 29. Se diferencia de la de Padbury que consiste en una rosca; debe colocarse muy pegada al gollete ó muesca en que ha de ponerse mientras la pezonera esté en su lugar, y cuando esta falte ó se caiga por un descuido, ella sola mantiene la rueda en el eje.

Las pezoneras deberian hacerse lo mas fuerte que fuese posible sin debilitar el eje, y nunca deben ser muy delgadas porque entonces estan muy espuestas á romperse por los lados. El hierro mejor y mas fuerte es el que debe escogerse para esto de preferencia, y aun no debian repararse en que costasen mas si se pudieran lograr de buen acero.

Los ejes inventados por Mr. Collinge son los mas convenientes para los carruages ligeros que se destinan á ir muy corriendo y llevar poca carga.

7.° *Para-ruedas.* (1). Nada mas útil cuando se corre que

(1) Los estrangeros llaman por lo general *mecánica* al sencillo mecanismo que se ha adoptado en mas ó menos variacion para detener las ruedas en los coches de diligencia, y carros grandes de tráfico: los mineros y carruageros ingleses *escolta*, y los ingenieros franceses *ralentisseur* como quien diria amai-

el poder templar á su arbitrio la velocidad de un carruage ó pararle enteramente. A la bajada de una cuesta ó plano inclinado de un camino de hierro es absolutamente necesario tener un medio de contener el paso ó velocidad, y ya hemos hecho ver antes que aun en los parages en que el camino está á nivel, sigue corriendo un carro un trecho muy largo antes que su velocidad quede destruida. Asi que importa mucho poder aumentar el rozamiento á su gusto.

En los caminos de hierro del Tyne y del Wear puede templarse el andar de los carros por medio de un rozamiento sobre la superficie de las ruedas, que verifica cuando quiere el que los conduce, cargando sobre el brazo de una palanca corba de madera que llaman la *escolta*, y cuyo centro de movimiento está asegurado á una banda del carro. Cuanto mas se carga y aprieta sobre dicha palanca, tanto mayor es su rozamiento contra las superficies opuestas de las dos ruedas de aquel lado del carro.

Cuando las ruedas dan vuelta sobre los ejes, no puede convenir este medio, por el motivo de que si solo se cargase de un lado, tiraria el carro á salirse del carril. En la fisica esperimental de Desagulier se describe un método de ejecutar este frotamiento sobre los dos lados de un carro á la vez, y para apretar de firme cuanto se quiera, sin que el conductor esté alli siempre forcejeando. Aunque menos sencillo que el que se usa en los caminos del Tyne, es muy á propósito para contener la carrera en las cuestas abajo ó parar enteramente un carruage, cuyas ruedas den vuelta sobre sus ejes. Aun podria simplificarse algo, pues convendria que no hiciese su fuerza separadamente sobre cada lado del carro.

Tambien se describe otro medio muy ingenioso en el tomo 33 de las transacciones de la Sociedad de Artes inventado por Mr. Rapson para contener el movimiento de un carruage; mas no puede servir para los caminos de hierro por verificarse el rozamiento demasiado cerca del centro del movimiento. La accion de la fuerza que refrena es semejante al rozamiento del método de Desagulier, pero por el medio imaginado por Rapson puede aumentarse todavia mucho mas, sin necesidad de tanto apretar. Vamos á esplicar por consiguiente su teoría, manifestando cómo podria aplicarse á los caminos de hierro.

nador del movimiento; pero yo creo que podremos llamarle en castellano *para-ruedas*, voz muy del génio de nuestra lengua y que define en dos palabras todo el misterio de este artificio.

Como el rozamiento es proporcional á la presion, ó al menos puede considerarse como tal en la práctica, nuestro primer objeto debe ser el determinar la presion que se verifica en la circunferencia sobre que obra la pieza que causa el rozamiento. Sea W fig. 3o el peso ó presion que causa el rozamiento, y A una pequeña parte del *para-ruedas*. Entonces la fuerza W y el esfuerzo que se verifica en el punto de contacto de la pieza A con la pieza inmediata B obran contra la pieza A. Estas fuerzas comprimen la pieza A sobre la circunferencia de la rueda; y si la direccion ó intensidád de la fuerza W es ab, debe ser contenida por una fuerza igual bd y la presion perpendicular sobre la superficie de la rueda será medida por bc. Estando construido el paralelo gramo a b c d sobre la direccion de las fuerzas, la fuerza que produce la presion sobre la pieza siguiente será disminuida por el rozamiento que se esperimenta sobre la primera, y asi sucesivamente por las piezas que siguen; pero la relacion de las fuerzas á las presiones será constante, y la presion será á la fuerza que la produce como la distancia entre las junturas es al radio del círculo que pasa por todos los puntos de union, porque ab : bc :: aO : ad. Por tanto, si s es el lado del poligono cuyos ángulos corresponden á las junturas entre las partes del *para-ruedas*, y si n es el número de lados ó partes del *para-ruedas*, f el rozamiento cuando la presion es igual á la unidad y r el radio Oa; entonces $\frac{fs\,W}{1}\,[1 + (1-f) + (1-f)^2 + \ldots (1-f)^n] =$ al rozamiento del *para-ruedas*; pero la suma de la progresion es

$$\frac{1-(1-f)^n}{1-(1-f)} = \frac{1-(1-f)^n}{f}$$

Luego $\frac{s\,W}{r}[1-(1-f)^n] =$ al rozamiento.

Ahora, pues, el rozamiento aumenta cuando el valor de n aumenta, con tal que no se reduzca mucho mas la longitud entre las junturas s, porque cuanto mayor sea n, menos distancia habrá entre las junturas. Cuando el *para-ruedas* luda y trabaje sobre la mitad de la circunferencia, se verificará el mayor rozamiento, si $n = 2$. Entonces $s = 1{,}4142$, y como el rozamiento de la madera de pino contra el hierro es de casi $\frac{1}{4}$ de la presion, se le arrimaran dos piezas, y o,62 W será igual al rozamiento. Si las piezas deben abrazar los $\frac{3}{8}$ de la circun-

ferencia de la rueda, entonces dos piezas darán el máximo y el rozamiento será de 0,75 W. Si el rozamiento se estiende á toda la circunferencia tres piezas harán el máximo efecto, y el rozamiento será igual á W, es decir, igual al peso que lo produzca.

Conviene mucho advertir que estas proporciones no se entienden sino en el caso en que el rozamiento es igual al $\frac{1}{4}$ de la presion. Las que corresponden á otras relaciones del rozamiento con la presion pueden calcularse por la fórmula siguiente:

$$\frac{s\,W}{r}\,[1-(1-f)^n].$$

Cuando el *para-ruedas* debe ludir sobre toda la circunferencia es á todas luces ventajoso el tomar separadamente las mitades, porque entonces el rozamiento es $2 \times 0{,}62\ W = 1{,}24\ W$, en vez de ser solo igual á W. Y esto es lo que ha confirmado tambien la esperiencia, pues los mejores *para-ruedas* se construyen asi.

Para aplicar estos principios al movimiento de los carros, es preciso observar que es necesario que el efecto del *para-ruedas* sea bastante fuerte para poder detener el movimiento de las ruedas, aunque no deba emplearse tanta fuerza sino muy rara vez, porque si asi se hiciese las ruedas resbalarian por el camino y tanto los carriles como las ruedas mismas padecerian no poco.

Hemos hallado por esperiencia que un carro resbalaria sobre los carriles, si las ruedas fuesen detenidas cuando la fuerza motriz es igual á $\frac{1}{6}$ del peso; por consiguiente la accion del *para-ruedas* sobre las ruedas debe ser igual á esta cantidad. Supongamos en este caso que el esfuerzo sobre la rueda sea de una tonelada ó de 2240 libras entonces

$$\frac{2240}{6} = 373,\ \text{y}\ \frac{373}{0{,}62} = 600\ \text{libras con corta diferencia.}$$

Esta es la fuerza que seria necesaria en A fig. 31 para pasar la rueda de suerte que resbalase sobre el carril, suponiendo que la rueda obra segun la direccion indicada por la flecha; pero una fuerza de $(1-0{,}62)\ 600 = 228$ libras (103 kilógr.) produciria el mismo efecto si fuese aplicada en B. Supongamos que al mismo tiempo un eje horizontal cobrase sobre la rueda opuesta, y que sea necesaria una fuerza de 448 libras para producir el efecto de esta accion; la fuerza de un hombre para mover una palanca en un caso seme-

jante puede regularse en 50 libras (23 kilog.) y $\frac{448}{50} = 9$ con corta diferencia, es decir, que las palancas deben proporcionarse de manera que la mano del hombre tenga un movimiento de 9 pulgadas (228 milim.) mientras que el punto B se mueve una pulgada (25 milim.).

Convendria agregar un resorte que sostuviese al *para-ruedas* pegado á la rueda, y por medio de una manija de combinacion D la palanca podria ponerse á uno ú otro estremo del carro.

CAPITULO VI.

De la eleccion de una línea para construir un camino de hierro; nivelacion, determinacion de inclinaciones, anchura y demas que hay que hacer en él.

Pocos asuntos hay en la práctica del ingeniero que requiera tanta instruccion, tanta pericia y estension de conocimientos como la eleccion de una línea de direccion para un camino de hierro ó un canal. En ambos casos es preciso fijar casi toda la atencion sobre unos mismos objetos, y al mismo tiempo reparar en las circunstancias particulares de cada uno. El que en materias de una importancia asi tenga que consultar á otros y atenerse á sus dictámenes, mal podrá percibir en su entendimiento la cuestion bajo todos sus aspectos. Es indispensable que el ingeniero vea antes en su imaginacion, no solamente el modo de ejecutar la obra sino tambien el efecto de ella despues de acabada: es preciso que combine las ventajas que hay por una parte, las razones de preferencia que deben darse á ciertos puntos sobre otros con la atencion conveniente para no perjudicar á los intereses del comercio general y que se halle en estado de salvar todas las dificultades que inevitablemente se le han de presentar al abrir una nueva línea de comunicacion al comercio.

Es evidente que ademas de un conocimiento completo de la superficie del pais, necesita tener el de su composicion interior y minerales que encierra. Las minas metálicas y las de carbon, marga, cal, yeso y piedra de construccion forman mucho valor en las inmediaciones de un camino de hierro, y se convierten en un manantial de riquezas para los dueños de ellas.

Debe atenderse igualmente á los intereses de la agricultura y no despreciar nada de cuanto pueda traer beneficio á los propietarios de las tierras por donde atraviesa el camino; porque un camino jamas se rompe sin causar perjuicios á las propiedades por donde corta, y es justo, en cuanto se pueda, compensar los inconvenientes con un esmero particular en fomentar todo cuanto se dirija á aumentar el valor de la propiedad. El acarreo de abonos, cal, marga etc., debe facilitarse como utilísimo á unos y á otros, y los derechos de arancel sobre estos artículos deben ser muy equitativos para que puedan sufrir los gastos de conduccion á las posesiones.

Si se trata de lo conveniente á un pais de fábricas, deberá tenerse muy presente que el tiempo es un punto de importancia en asuntos de comercio y que despues debe cuidarse mucho de la seguridad. Ocioso parece decir que tambien debe entrar en cuenta la economía, pero es preciso que no sea la aparente sino la real y verdadera. Un ingeniero debe estar muy familiarizado con toda especie de cálculos pecuniarios para deducir al momento si tendrá ventaja el hacer ó no un desmonte, terraplen, calzada ó cosa semejante, para ir derechamente á un punto ó seguir por rodeo la línea mas larga. Y en estas materias no solo debe calcularse cuando se hará el reintegro de los capitales empleados, y el interes que dejarán, sino tambien las demoras y pérdida de tiempo, compensando la importancia del ahorro de horas con lo que costará de mas un corte á pico, un terraplen etc. etc.

El ingeniero que sepa que aun en la distribucion de los valles y colinas se encuentra un cierto órden admirable en la naturaleza, podrá decidirse mas fácilmente en la eleccion de una línea respecto á la superficie del pais que debe atravesar. Estas cosas que á primera vista parecen al hombre ignorante hechas como desordenadamente, son el resultado de la accion uniforme de causas naturales, y pueden trazarse en realidad y describirse con menos trabajo que lo que podria creerse. Cuando se quiere levantar el plano de una estension grande de pais, los rios y arroyos son lo que da una idea mas exacta de las elevaciones y depresiones que hay en el: ellos indican todas las variaciones de inclinacion y aun con suma precision para el hombre de buen ojo. Debe observarse que cada rio tiene su sistema de valles y que fuera de algunos casos en que las aguas se pierden sumiéndose en cavidades subterráneas, una comarca cuyas alturas se trazan con

facilidad siempre encuentra sus desagues en el rio que la atraviesa y en su sistema de valles.

Luego que se ha formado uno la idea mas clara de la direccion que puede darse á un camino, la primera diligencia debe ser levantar un plano exacto para determinar la línea precisa que se ha deseguir. Aconsejamos al ingeniero hacerlo por líneas que se corten en ángulos rectos, como método infinitamente superior al del deslinde por triángulos, para tomar un conocimienso exacto de la superficie del pais. Quizás con el auxilio de una figura haremos resaltar mas la ventaja evidente de este método. Sea, pues, AB fig. 3ª una porcion de la direccion proyectada, y CD la anchura del territorio que debe entrar en el plan. Escójanse á distancias convenientes los puntos a a a cuyo trecho dependerá de las variaciones de nivel que ofrezca el terreno. Nivélese exactamente la línea principal AB y las transversales b b b y trázense como se ve en la fig. sobre el plano de la línea del camino. Si la distancia b b debe ser considerable, puede añadirse otra mas en la direccion principal. Las líneas picadas manifiestan la forma de la superficie en la línea AB y b b sobre el plano; y siendo las últimas cortes en ángulo recto sobre AB no se encontrará dificultad alguna en distinguir la estension de los desmontes ó terraplenes que podrán evitarse variando la posicion de la línea principal. En suma, un plan de esta clase vale mas que un modelo de un pais para quien está acostumbrado á juzgar por los cortes.

Mas cuando se va á fijar la línea puntualmente, es necesario saber si las conducciones que se han de hacer por dicho camino han de ser iguales en ambas direcciones. En caso de igualdad el camino debe hacerse lo mas de nivel que sea posible; pero si las conducciones han de ser constantemente desiguales y verificarse siempre en la misma direccion, lo que debe acontecer en muchos caminos de hierro, entonces conviene mas que haya declive.

Regla. La regla para hallar la inclinacion conveniente es la que sigue. A la cantidad de toneladas que han de venir de cada direccion del camino, añádase el peso de los carros necesarios para conducirlas del lado por el cual el acarreo ha de ser mayor; divídase la suma mayor por la menor, y hágase del cuociente aumentado con la unidad el denominador de una fraccion de que este mismo cuociente disminuido sea el numerador: multiplíquese esta fraccion por la fraccion que representa la resistencia sobre los carriles de hierro cuando el

camino está á nivel, y el resultado hará conocer por la fraccion que salga el declive mas conveniente para dicho camino.

Supongamos que sea cosa averiguada que para 1000 toneladas de géneros que vayan por una direccion no haya mas que 500 que vengan por la otra y supongamos que el peso de los carros que conduzcan las 1000 toneladas sea de 250 toneladas. Añádanse á 1000.250 peso de los carros, y tendremos 1250. Añádanse igualmente 250 á 500 y pártase 1250 por 750, con lo que resultará por cuociente 1,666. Rebájese uno de este cuociente y tendremos por numerador 0,666. Añádase uno al mismo cuociente y tendremos 2,666 por denominador, lo que dará la fraccion $\frac{0,666}{2,666}$ ó $\frac{666}{2666} = \frac{1}{4}$. A hora, pues, si un kilogr. puede arrastrar á 130 sobre un camino á nivel $\frac{1}{4} \times \frac{1}{130} = \frac{1}{520}$ lo que indica que el camino debe tener un declive de una parte por 520 ó sobre poco mas ó menos dos metros por cada kilometro.

Si los carros debiesen subir de vacio, entonces tendriamos

$$\frac{1250}{250} = 5 \text{ y } \frac{5-1}{5+1} = \frac{4}{6} = \frac{1}{1,5};$$

pero $\frac{1}{1,5} \times \frac{1}{130} = \frac{1}{195}$. Luego la inclinacion de la pendiente deberia ser de una parte por 195 ó algo mas de 5 metros por kilom. Resulta con evidencia de estos ejemplos que este punto merece atencion, especialmente tratándose de hacer la conduccion con caballerias, pues debe perderse mucha fuerza, cuando las fuerzas que se han de necesitar en ambas direcciones no son iguales.

Cuando se usen, bien sea caballerías ó bombas de vapor es preciso evitar toda subida y bajada que no se pueda pasar sin el auxilio de una máquina fija ó de las que llaman *estables*, y se colocan en lo alto de las cuestas, á menos que no costase mas dinero el hacer los desmontes y terraplenes, que la máquina con todos sus accesorios y compensacion de paradas y dilaciones etc.

Si se gastan máquinas estables y son de la especie que hemos hablado, la altura de la cuesta y profundidad de la

hondonada serán bastante indiferentes con tal que no sean muy rápidas, y se evitan en parte los grandes cortes del terreno. Cuando hay que arrimar tierras el espacio que se ha de dar á la escarpa indispensable de cada lado del camino depende de la calidad de los materiales que se empleen en ello, pues si se hace con arena, guijo, fragmentos de rocas ú otro material que no retenga el agua se mantendrá firme y resistirá á todas las inclemencias, cuando por el contrario si se hace con substancias arcillosas no duran un imbierno.

Para la tierra regular un escarpe de 45° es suficiente, pero para la arcillosa es preciso darle á veces unos 34°, principalmente si no está mezclada con otros materiales que impidan detenerse el agua en las grietas que se forman durante los tiempos secos. Asi en el primer caso la razon del escarpe con la base es de 1 á 1 y en el segundo de 2 á 3. Pero en otras circunstancias puede darse al escarpe mas pendiente, de modo que su base sea á su altura como 2 es á 3 y aun como 1 es á 2. Muy fácil será juzgar cuál será el escarpe mas conveniente luego que se conozcan las capas del terreno que se han de cortar y se observe el estado en que se encuentre en aquellos parages inmediatos que se hallen al descubierto.

A veces si hay piedra buena á mano puede atravesarse una barranca ú hondonada por medio de una fila de arcos por el estilo de los acueductos antiguos. Ocasiones se presentarán sin duda en que el ingeniero encargado de un camino de hierro se verá en la precision de desplegar toda su ciencia y habilidad en la construccion de puentes que es materia cuyos principios teóricos hace muy poco tiempo que estan bien determinados y que merece muy bien un tratado especial.

El espacio necesario para un camino de hierro debe depender de la anchura de batalla, como suelen decir de los carros ó abertura de su carril, y del número de los mismos. Esta anchura se ha determinado por la opinion, mas bien que de resultas de un exámen sério del asunto: pero se deja discurrir que esta anchura debe tener una cierta relacion con la altura de la carga para que el carro pueda permanecer en constante equilibrio sobre los carriles. Hay ademas que considerar en un camino de hierro que conviene que la presion sobre el carril no pueda materialmente variarse por la mas leve inclinacion de uno de los lados del camino. Puede tomarse por regla general de la abertura de carril para

los carros que van con una velocidad de mas de 5 millas (8 kilometros) por hora, que el centro de gravedad no esté elevado mas que en la proporcion de 1 á 1½ relativamente á la distancia entre los dos lados, ó sean las dos filas del carril; pero los carros se suelen construir las mas veces de modo que la altura del centro de gravedad es igual ó casi igual á la anchura del carril, lo que puede suceder muy bien que no traiga malas consecuencias cuando caminan despacio; pero cuando echan á correr, si el centro de gravedad no se halla colocado en los límites que acabamos de designar, van espuestos á volcar al mas leve tropezon.

En un camino real ó carretera la gran resistencia en la superficie de las ruedas y la fuerza del motor tiran á impedir los vuelcos, pero en un camino de hierro la pequeñez de la fuerza motriz, y el poco aumento de resistencia en la rueda que lleva todo el peso de la carga, no bastan para contrapesar el efecto que produce sobre esta carga el encuentro de un estorbo, y ademas el modo de que el motor va sujeto al carro no es tan favorable para mantener y volver á este á su posicion. Estas circunstancias piden el mayor cuidado de parte del que está encargado de la construccion de un camino de hierro en que han de caminar los carros á razon de 10 millas (16 kilom.) por hora.

Decimos que 10 millas por hora es ya un movimiento rápido y cuanto mas lo reflexionamos mas nos ratificamos en ello, y vemos que no puede haber una verdadera ventaja en ir con mayor velocidad, á no ser en un camino de hierro destinado á correos de gabinete, caso en que el carrillo que lleve el correo pueda ser puesto en movimiento por uno que sentándose en él ejecute lo que hace un remero para vogar con corta diferencia. Sobre un camino de hierro construido para un carruage ligero por este estilo, y cuya carga fuese suspendida mas baja que los ejes, se podria correr con mayor velocidad todavia, luego que la costumbre lo hiciese tolerable. Tal vez en algunas circunstancias rarísimas, y en las que fuese preciso enviar cartas ó pliegos con suma urgencia podria enseñarse este medio: si pintase bien podria adoptarse para las postas y correos ordinarios, pero no es probable que pueda tener buen resultado un modo de transportar viajeros con una velocidad mayor que la de 10 millas (16 kilom.) por hora.

Pues que el ancho del carril depende del centro de gravedad de los carros cargados, y que este centro varía segun la

naturaleza de la carga y celeridad de la marcha, es evidente que lo mejor que hay que hacer es dar al carril una anchura tal que por el modo de colocar la carga, pueda hallarse siempre el centro de gravedad en los límites que convienen, sea que el carro corra ó vaya despacio. Seria muy acertado adoptar la misma abertura de carril y la misma presion sobre cada rueda para todos los caminos de hierro. Aconsejaríamos dar 4 pies y 6 pulgadas (de 13 á 14 decimetros) al carril de los grandes carruages, y 6 pies (18 decimetros) á los carrillos destinados á correr mucho. Entonces para un camino sencillo, la anchura de la banda de afuera de los carriles de hierro seria de 5 pies (15 decimetros), se dejarian 3 pies (9 decimetros) de cada lado para la gente de á pie, y 4 pies (12 decimetros) para zanjas y vallados, lo que haria un total de 19 pies (57 decimetros). Si la abertura de carril fuese de 18 decimetros, entonces el ancho total seria de 62 á 63 decimetros, mas de 8 varas castellanas.

Para un camino doble se pondrán 12 decimetros entre los carros lo que arrojará una anchura total de 85 decimetros para los carros mayores y 97 para los ligeros. Un camino doble para una y otra especie de carros no bajaria de 17 metros de anchura, cosa de 20 varas castellanas.

Cuando se emprende un camino de tanta anchura, se debe cuidar mucho de combinar bien los desmontes que hay que hacer con los terraplenes á fin de emplear el menos trabajo posible en la traslacion de tierras: la suma de terraplenes y desmontes multiplicados cada uno por el espacio en que se remueve la tierra, debe ser un *minimum*. Se necesita mas tino que lo que parece para abrir el terreno sobre una falda de montáña porque es preciso no olvidar que un camino de hierro debe apartarse lo mas mínimo posible de la línea recta y las faldas de las colinas presentan generalmente su cierta curbatura.

En todos los caminos de hierro es necesario dejar sus tránsitos de trecho en trecho, y estos deben ser muy frecuentes cuando el camino es uno solo. Sobre los de tránsito, al lado del de hierro, seria muy acertado colocar plataformas giratorias ó de torno para cambiar los carros de direccion, bien sea para volver atras ó entrar en otro ramal de camino, pues nos parece peligroso ponerlas en la línea principal.

CAPITULO VII.

De la construccion de los caminos de hierro, forma y longitud de las barras asi de hierro colado como forjado, y cuanto se requiere para sentar los carriles.

Tratando de la construccion de los caminos de hierro, conviene examinar primeramente la fuerza y forma que se han de dar á las barras que los componen y esplicar despues el modo de sentarlas, y despues de hablar de las de los carriles estrechos, trataremos de las de los planos, y diremos qué fuerza deben tener para un servicio temporal, pues ya hemos manifestado que no son estas buenas para los caminos permanentes. La fuerza que designamos para las barras es la menor que se les puede dar, y para un camino de mucho tráfico debe aumentarse su fuerza en la proporcion que indicamos.

1.° *Barras para los caminos de hierro.* Se emplean con ventaja para estos caminos dos especies de barras, á saber las de hierro colado y las de forjado. No es, sin embargo, probable que el forjado pueda durar tanto como el colado, cuando se mantiene espuesto al aire y humedad contínua, pero ofrece ventajas muy importantes que daremos aqui á conocer porque esta esplicacion tiene una íntima relacion con el exámen de la fuerza y proporciones que convienen á los carriles.

Las barras de hierro colado estan mas espuesta á quebrarse que las de forjado, sea la que sequiera la clase de fundicion, la mejor; y la fuerza que romperia una barra de hierro colado, á penas haria en una de forjado mas que una especie de mella, permanente sí, pero muy ligera é incapaz de interrumpir el tránsito de los demas carros. Ademas, puede darse á las barras de hierro forjado una largura considerable, en lugar que á las del colado no se les da regularmente mas que 1 á 1½ metros, de manera que la barra de hierro forjado es mejor para llevar bien unido el conjunto de las partes de un camino de hierro y que las mismas junturas no hagan tropezar á los carros. Pero sea que las barras largas se hagan de hierro forjado ó colado, es esencialísimo que vayan sostenidas de trecho en trecho, y lo que mas obsta para emplear barras largas de hierro colado es precisamente la dificultad de colocar los sillares ó puntos de apoyo, de modo que las barras carguen con igualdad sobre ellos, pues este hierro se doblega tan poco antes de quebrar, que si uno de

los apoyos llega á hundirse algo por poco que sea, casca la barra casi de seguro. Una de hierro forjado por el contrario no hace mas que encorbarse en igual caso. En un camino cuyo piso sea muy firme, tendrá cuenta servirse de barras de hierro colado de la mayor longitud, pero la razon que hemos dado bastaria para no tener confianza en los apoyos intermedios.

Las razones que deben hacer preferir las barras mas largas son el aumento de fuerza que se logra sin aumento de gastos en material, y la ventaja de tener menos junturas. La barra corta AB (fig. 15) no es tan fuerte como la parte del medio CD fig. 16 de otra barra 3 veces mas larga. Si los cabos EF de la larga están sólidamente sentados, la parte del medio CD aguantará mas del doble del peso que aguantaria si se la cortase todo lo que hay de C á D teniendo ademas la ventaja de la fuerza de la barra en C y en D. Las partes EC y DF son tambien mucho mas fuertes que si estuviesen partidas en otras dos barritas. Sin embargo en esta colocacion la fuerza es desigual, partiendo la longitud de la barra en 7 partes y tomando 3 de ellas para la distancia de los poyos ó sillares del medio como se ve en la fig. 17. Y si hubiese otro número cualquiera de poyos intermedios bastará que los espacios que estan á las puntas sean respecto á los espacios del medio como 2 : 3. Este modo de sostener las barras largas de hierro forjado las hace casi enteramente de fuerza uniforme.

2.° *Barras de hierro colado para carriles estrechos.* Tocante á las de hierro colado tenemos que considerar su forma, la anchura de su cara de arriba y su fuerza. La forma debe ser la que preste mas fuerza empleando menos materia. Pero en nuestras investigaciones sobre esta forma es preciso recordar que debe escogerse aquella que permita la menor inflexion posible cuando la carga se halle sobre el medio de la barra que no carga sobre los poyos; pues es claro que esta inflexion debe causar el efecto de una superficie escabrosa, haciendo irregular el movimiento de los carros y aumentando el tiro. Siendo la anchura uniforme el contorno del grueso debe ser una semi-elipse, de manera que la barra pueda tener la misma fuerza en todos los puntos para resistir á la carga que puede sobre ella. En nuestro *Ensayo sobre la fuerza del hierro colado* hemos hecho ver que adoptando la figura de igual resistencia, se logra un aumento de curbatura en la razon de 9 á 7, y como la cantidad de metal que se viene á ahorrar no es cosa mayor,

siempre que el corte transversal de la barra sea de la forma mas conveniente, vale mas servirse de barras de grueso uniforme.

Para determinar la forma de la seccion transversal de un carril de hierro es preciso saber que anchura ha de tener el borde sobre el cual han de caminar las ruedas. Esta anchura debe ser indudablemente proporcional á la carga que ha de pesar sobre una rueda, cuando el diámetro de ellas sea el mismo. Pero cuanto mayor sea el diámetro de una rueda mas superficie tendrá en contacto, y por consiguiente las grandes exigen menos anchura que las pequeñas. Si no se quiere atender al diámetro de las ruedas, bastará en la práctica arreglar el ancho de los carriles sobre el esfuerzo que tengan que resistir.

Hemos observado que en las cercanías de Newcastle el ancho del borde superior de las barras, las cuales son de fundicion, es de 2 pulgadas (50,7 milim.), y que el esfuerzo sobre cada rueda es de 1 tonelada lo que da esta proporcion 1 ton. : 2 p. : : W peso sobre una rueda : 2 W. Esto es que la anchura en pulgadas debe ser doble del número de toneladas que pesan sobre una rueda ó que se debe dar al carril una media pulgada de ancho por tonelada de carga sobre una rueda.

El ancho medio no debe ser menos de la mitad de ancho del borde superior, y la menor anchura de la seccion tampoco inferior á la mitad de la anchura media, ó del cuarto de la anchura del borde superior, y en ningun caso, menos de media pulgada (13 milim.). Convenidos ya en estas proporciones la cantidad de materia puede ser repartida de modo que se le dé el mayor grado de fuerza disminuyendo el ancho hácia el medio del grueso, y aumentándole hácia los bordes de arriba y de abajo, donde servirá mas para resistir á la presion lateral. Puede verse esta forma en la fig. 14.

Adoptando estas proporciones se hace mas fácil el cálculo de la fuerza de los carriles, igualmente que de su peso. La distancia entre las ruedas de un carro que va sobre un mismo carril debe ser tal que la parte del carril no apoyada, jamas tenga que aguantar á la vez mas que una rueda; y para no descuidarse nunca en cuanto á cualquier aumento de esfuerzo sobre un carril inclinado, contingencias, defectos de fundicion, ó cualquiera otra cosa, deben ser las barras bastante fuertes para poder aguantar el doble del peso que ha de llevar cada rueda, y esto sin perjuicio de la ventaja que se logrará colocando la seccion transversal del modo mas favorable á la fuerza. El grueso del carril se hallará multiplicando la distancia

entre los puntos de apoyo, espresada en pies por 5,27; la raiz cuadrada del producto será el grueso en pulgadas.

Ejemplo. Si la distancia entre los poyos es de 3 pies, entonces $5,27 \times 3 = 15,81$, cuya raiz cuadrada es algo menos de 4 pulgadas. Asi pueden tomarse 4 pulg. (10 centim.) para el grueso; y si la carga es de una tonelada sobre cada rueda, el ancho del borde superior será de 2 pulg., el término medio una pulg. y la anchura por el medio del grueso media.

La area de la seccion de la barra es igual al grueso multiplicado por la anchura media: de consiguiente es de 4 pulgadas cuadradas, y el peso de la barra ó carril de 3 pies de largo es de $4 \times 3 \times 3, 2 = 38,4$ lib. (17, 5 kilogr. con corta diferencia.)(1).

Para mayor conveniencia de los lectores ponemos al fin de este tratado una tabla que indica el grueso, ancho y peso de las barras para carriles de diferentes larguras y para diferentes cargas; pero en los caminos de hierro de mas importancia por la estension del comercio, deben aumentarse las anchuras cosa de $\frac{1}{3}$. La razon es porque calculando la altura de que bastaria que cayese una rueda para romper un carril de la fuerza del ejemplo anterior, creeria uno que una rueda cargada con una tonelada que cayera de un tropiezo cuya elevacion sobre el carril no fuese mas que $\frac{1}{4}$ de pulg. (6 milim.) le romperia indefectiblemente. Las barras que tienen mas longitud resisten á la percusion mejor que las cortas. Una barra de una longitud doble resistiria á la caida de una rueda de la altura de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

3.° *Carriles de hierro forjado.* Aun no se ha usado el hierro forjado mas que para carriles estrechos, y ya hemos advertido que las barras de esta especie tienen la ventaja de unir bien las partes del camino, y darle mas fortaleza. Pero se ha observado que las cargas escesivas que pesan sobre las ruedas estienden las laminitas de que se componen los bordes superiores de los carriles, y hacen saltar en ojuelas la superficie al cabo de tiempo. Este inconveniente es gravísimo, y resulta de dos circunstancias que si obraran separadamente harian poquísimo efecto. En primer lugar todos los carriles de hierro forjado son demasiado ligeros. Se ha notado que un esceso de carga no los hace romper; pero se les obliga á tomar una curbatura permanente, proporcionada á su grado de debilidad, de

(1) La pesantez especifica del hierro colado es de 7,207. Un pie cúbico inglés de él pesa 450, 4 libras, lo que hace un poco mas de 3, 1 libras por el peso de 1 pie de largo sobre una pulgada de escuadra. Aqui suponemos 3, 2 por este peso.

manera que las fibras del borde superior pierden su elasticidad. Es muy posible que esto solo no obligase á la superficie á saltar en forma de ojuelas, si el modo de fabricar las tales barras no fuese tambien perjudicial ó su duracion. Labránse pasándolas por entre cilindros, y como la seccion transversal de los carriles comunes es irregular su forma saldria y quedaria curva, segun queda al salir de los cilindros; pero luego se las endereza y es cuando se destruye su estructura. Haciendo consistir el corte transversal de una barra en partes iguales y dispuesta de un mismo modo se tira con los cilindros una barra derecha sin alterar sus bordes esteriores, y siendo una barra de grueso igual menos flexible que la que se adelgaza por sus puntos de apoyo, debe ser mas fácil que lo que se ha creido hasta aqui el fabricar carriles de hierro ductil.

Los carriles de hierro forjado, siendo igualmente suaves, por no decir mas que los de fundicion, es evidente que deben tener una anchura al menos igual á su superficie superior; aun somos de dictámen que debieran ser mas anchas; pero suponiendo que la misma anchura pueda convenir en los casos ordinarios, he aquí cuales deben ser poco mas ó menos las proporciones de estos carriles: una pulgada inglesa (25, 4 milim.) de ancho en borde superior por cada media tonelada de carga que pese sobre una rueda; y en cuanto á la anchura media los $\frac{2}{3}$ de la del borde superior. Si la fuerza de las barras para carriles está calculada de modo que puedan aguantar la presion real sobre una rueda sin depresion permanente cuando son de una mediana anchura, la fuerza adicional que se ganaria por el arreglo de la seccion transversal en la forma mas fuerte, hará las veces de una cantidad mayor de materia, sobre todo si se gastan barras un poco largas. Deben exceptuarse los planos inclinados cuyos carriles deberán ser mas fuertes en proporcion del aumento de presion que en ellos se sufre.

Se tendrá la fuerza que corresponde á una tonelada de carga sobre una rueda, multiplicando la distancia entre los poyos ó sillares, contada en pies ingleses por 3, 2. La raiz cuadrada del producto será el grueso en pulgadas. Por lo que toca á otra cualquier carga, se hará la anchura proporcional á la presion, el grueso quedará el mismo.

Si la distancia entre los poyos es de 3 pies, entonces $\sqrt{3,2 \times 3} = \sqrt{9,6} = 3\frac{1}{4}$ pulgadas (79 milim.) con corta diferencia: la anchura en el borde superior será de 2

pulgadas (50, 8. milim.) y la anchura media ½ de pulgadas (19 milim.) El peso de una barra de hierro forjado de un pie de largo y una pulgada en cuadro, siendo de 3, 4 libras la area de la seccion en pulgadas multiplicada por la longitud en pies, y por 3, 4, dará el peso de las libras. La tabla 8.ª al fin de esta obra dá calculadas estas dimensiones para todos los casos probables (1).

Los carriles de hierro forjado no han sido probados hasta ahora sino muy imperfectamente. Recelamos que se tengan por de corta duracion, porque es sabido que el hierro forjado espuesto, como deben estarlo estas barras á los efectos de la humedad, se destruye muy rápidamente. Si hubiera que renovar cada 15 ó 16 años todo un camino de hierro, los gastos superarian á sus utilidades. Hemos procurado adquirir muchas noticias sobre la duracion probable de estos caminos de hierro, y hemos llegado á saber una multitud de opiniones; pero ni siquiera un dato que merezca citarse. Es indudable que la descomposicion del hierro se verifica muy lentamente, pero es contínua y constante, y antes de emplear este material en un camino de 40 á 50 millas, bueno seria estar mas seguro del tiempo que puede durar. No se puede disputar la escelencia del hierro forjado para los caminos, cuando se desee que la velocidad de los carros sea de mas de 3 millas por hora, si está probado que su duracion sea bastante larga para no hacer muy costoso su uso; porque un carril que llegase á romperse, es mas que verosimil que causase una averia mas que mediana á todo carro que corriese con violencia, y en un camino de carriles de fundicion estos deben ser por lo mismo de la mayor fuerza para no verse espuesto ninguno á semejantes accidentes.

Con el fin de evitar el andar levantando carriles quebrados en aquellos sitios en que es mas de temer este accidente podria hacerse un empedrado firme debajo del camino de hierro, y sostener el carril de uno y otro lado con otro trozo de encachado. Al menos deberia acostumbrarse hacer eso en aquellos parages que el camino atraviesa una carretera, una calle pública ó cosa semejante.

El modo de preparar el camino para sentar los carriles de hierro debe depender de la calidad del piso. Si es firme y liso bastará levantar la costra superficial y trazar el camino dán-

(1) El metro cúbico de hierro forjado pesa 7788 kilogr.; y asi una barra de un metro de largo y de 2, 5 centim. de lado pesaria 4,8765 kilogr. ó cerca de 5 kilogr. Si fuera de fundicion no pesaria mas que 4 y medio kilogr.

dole la inclinacion y nivel convenientes; y en todos aquellos sitios en que los poyos no esten á mas de 3 ó 4 pies (9 á 12 décim.). Se abrirá una zanja de 2 pies de ancho con corta diferencia, y 10 pulgadas de hondo bajo cada fila de carriles con sumideros ó vertientes á los lados hechos con piedra, mas hondos, y de distancia en distancia para que se conserve seco y sólido el camino, dando la caida á los sumideros ó alcantarillas en la direccion mas á propósito para llamar hácia ellos las aguas llovedizas ó de los manantiales que rezúmen en el terreno.

Las zanjas de debajo de los carriles deben rellenarse de guijarros y pedazos de piedras, ó á falta de piedra de buen casquijo, y siempre deberá preferirse para esto la piedra mas dura que encontrar se pueda.

Concluido que sea todo esto del modo conveniente, se pasará un rodillo muy pesado antes de sentar los sillares ó poyos que deben servir de base á los carriles. Dichos poyos deben tener muy llano el asiento de unas 16 pulgadas cuadradas (4 décim.), pero deben tener mas base cuando la carga sobre cada rueda haya de pasar de una tonelada. Su grueso debe ser cosa de la mitad del asiento. Se apisona bien el sitio en que debe colocarse el poyo ó sillar, para que quede muy firme, y se le echa despues una capa de guijo menudo ó arena gruesa para sentarlo; pero sin poner mas arena que la precisa para que el poyo siente llana y sólidamente. Como la perfeccion del camino depende mucho del modo de sentar los tales poyos, y del grado de exactitud con que se colocan, conviene cuidar con el mayor esmero de esta parte esencial de la construccion. Una vez colocados los cruzeros de hierro y los carriles sobre los poyos, se forma el sendero por donde han de caminar las caballerías, y lo mismo los laterales con aquel material que haya á mano en el pais, pero conviene mucho que sean tambien los senderos los mas firmes y sólidos que se pueda, por lo mucho que contribuyen á la inmovilidad de los poyos y carriles.

En las tierras muertas deben ser las zanjas mas anchas y hondas, y llenarse de pedazos de piedra quebrada á golpe: cada camada de piedra deberá tener de 7 á 8 pulgadas de grueso, y apisonarse para darla firmeza. Las mismas precauciones se necesitan en los terrenos arcillosos en que las alternativas de humedad y sequía causan tanta alteracion.

Si se ponen carriles mas largos, y hay parages en que por la dificultad de hallar un piso firme es este un medio muy

conveniente, lo mejor que puede hacerse es levantar á trechos y de un lado á otro del camino unos paredoncillos que sirvan de sosten á los carriles. Siendo evidente que si un poyo ó sosten cualquiera no tiene fuerza para sostener sin riesgo la mitad del peso de un carro, no vale para el objeto que se destina, es necesario que sea el que fuese el número de los poyos tengan todos la misma fuerza que si estuviesen muy separados. Hay, pues, una determinada largura en los carriles que es mas económica que ninguna otra porque si se pasa de ella, salen muy costosos, ó los poyos vienen á costar mas por otra parte, si el carril es corto. En sabiendo lo que cuesta un poyo ó silla de estos, es fácil calcular la longitud que conviene á los carriles por una equacion que se encontrará en nuestro *Ensayo práctico* sobre la fuerza del hierro. Pondremos aquí la regla con un ejemplo.

4.ª *Regla para hallar la largura mas económica de los carriles.* En teniendo los datos fijos del valor de la tonelada de hierro puesta en el sitio, y el de los poyos de piedra y cruceros de hierro, y costo de sentar los poyos, partase el precio de la tonelada de hierro en libras estérlinas por el de un poyo; cuadrese el cuociente, y multipliquese este cuadrado por la anchura del carril en pulgadas, y multipliquese este producto por la 20.ª parte del peso del carro cargado en libras, y estraigase la raiz cúbica del último producto. Por último, divídase 700 por la raiz cúbica que se acaba de estraer, y el cuociente será la distancia en pies entre los poyos.

Ejemplo. Supongamos que el valor de una tonelada de hierro colado en carriles sea de 14 libras estérlinas puesto al pie de la obra; que los costos de un poyo, materiales y jornales sean de 0, 2 idem; que la anchura del borde superior del carril sea de 2 pulgadas, y el peso de un carro cargado sea en libras 9000. Tendremos entonces $\frac{14}{0,2} = 70$, cuyo cuadrado es 4900. Ahora $4900 \times 2 \times \frac{9000}{20} = 4,410,000$. La raiz cúbica de 4.410,000 es 164 y $\frac{700}{164} = 4\frac{1}{4}$ pies con cortísima diferencia.

Bajo estos supuestos, los carriles de hierro colado de 4 pies y 5 pulgadas (13 décimas) serian los mas económicos para este camino de hierro. Pero si por la mala calidad del terreno ú otra causa, los poyos costasen 8 chelines cada uno, ó sea 0, 4 libras sterlinas entonces la largura mas económica de cada pieza de carril, se veria haciendo otro cálculo igual que seria la de 6 pies $\frac{3}{4}$ (19 décimas).

El valor del hierro, el peso del carro cargado, y la an-

chura del carril deben influir tambien sobre la distancia entre los poyos, y por consiguiente sobre el costo del camino. No damos la regla para los carriles de hierro forjado, porque si se necesita se encontrará en el *Ensayo* citado.

Deben tomarse todas las precauciones imaginables para que los caminos de hierro se conserven secos, bien sea proporcionando alcantarillas y sumideros á trechos, bien haciendo que puedan orearse bien quitándoles todo lo que les haga sombra, ó bien gastando en ellos los mejores materiales para que no absorvan ni retengan el agua. Por lo que hace á material bueno, los que sirven para las minas de carbon y otras cualesquiera, tienen una ventaja que no se hallará fácilmente en otros territorios. Cuando se gastan carriles de hierro forjado conviene mucho rodearlos de ceniza de hornaguera, ó de la comun de leña de escorias ó cualquier residuo mineral asi, para evitar el contacto del hierro con la arcilla, marga, piedra caliza, tobosa y otras arcillosas.

En los parages que se hayan hecho cortes grandes del terreno, queda regularmente el camino privado del sol y ventilacion, y por consiguiente debe tenerse allí mucho esmero en dar corriente á las aguas.

Las calzadas de tierra movida deberian ir acompañadas de trecho en trecho por una especie de sumideros verticales, de fragmentos de piedras ó de otro material bueno no comprimido, ya para repartir la humedad por la masa, á fin de que haga cuanto antes asiento, y ya para impedir que chupen y conserven mas agua que la conveniente. Si los materiales son de calidad de retener el agua, deben hacerse alcantarillas cerca de la base para evitar que se acumule; y siempre que haya que trabajar sobre tierras movidas, se pondrán solo provisionalmente los carriles, esperando á que el terreno haya hecho bien su asiento para colocarlos de firme.

Cuando se da una curbatura grande á un camino de hierro los carriles de la curva de afuera deberian tener un poco de elevacion en medio de la curva, y unos y otros mas fuertes por la parte lateral. El efecto de esta corta elevacion en medio de la curva seria refrenar la tendencia que tiene un camino asi á alargarse en línea recta, sin rozar con tanta fuerza contra el borde del carril como hemos visto que sucede en los sitios que el camino daba mucha vuelta. Es preciso en cuanto se pueda dirigir estos caminos en línea recta, pero cuando se propone uno seguir una curva por cualquier objeto ó motivo que lo exija deben fundirse ó forjarse los carriles para aquel

sitio, segun el caso lo pida, pues es imposible juntar carriles rectos en ellos sin que formen ángulos que tienen el doble inconveniente de ocasionar un movimiento irregular, y aumentar mucho la presion lateral sobre los carriles.

Para calcular la fuerza de los carriles planos, puede considerarseles como un rectángulo, y hallada asi la fuerza se dispondrá el material dando al corte la figura de mayor resistencia. He aqui la regla para estos carriles.

Regla. Multipliquese 3 veces la longitud de lo que tiene en pies por el esfuerzo sobre una rueda en toneladas, y pártase el producto por la anchura en pulgadas; la raiz cuadrada del cuociente será en pulgadas el grueso del carril, suponiendo que forme un plano del mismo grueso. Si esta cantidad de materia se distribuye como se indica en la fig. 19 será bastante fuerte para el objeto.

Ejemplo. Si el carril plano debe tener 4 pulgadas (10 centim.) de ancho, 3 pies (91 centim.) de largo, y el esfuerzo sobre la rueda es de $\frac{3}{4}$ de tonelada: en este caso $\frac{3 \times 3 \times \frac{3}{4}}{4} = 1$, 69 y la raiz cuadrada de 1, 69 = 1, 3. Mediante la cual, una pieza de 4 pulgadas de ancho, 3 pies de largo y 1, 3 pulgadas de grueso, dispuesta segun se ve en la fig. 19 seria bastante fuerte para nuestro caso; y una pieza de carril semejante pesará cosa de 50 libras (22, 7 kilog.)

Hánse fundido carriles mucho mas endebles pero tambien se han cascado, y cuando no jamas han podido conservarse en buen estado. Si se hiciesen con uniformidad estos otros cuyo uso aconsejamos, tendrian bastante fuerza para resistir á la carga sin padecer alteracion alguna permanente; pero si se les diese la seccion que muestra la fig. 19 su resistencia seria casi doble.

5.° Combustible para las máquinas de los planos inclinados.

6.° Sueldos del ingeniero principal, de los subalternos de este, portazgueros y demas empleados.

Todos estos gastos son casi independientes de la cantidad de géneros que se transporten por el camino, y cuya diferencia es preciso que sea muy considerable para hacerlos subir mas ó menos; y antes de pasar á examinar el gasto de las diferentes especies de motores, acaso será útil formarse una idea del número de carros de transporte que se necesita anden por el camino para reembolsar el capital gastado en su construccion, cuando el primer gasto es poco mas ó menos igual al término medio de los capitales que es verosimil se gastasen, si se construyesen otros caminos de hierro en varias partes del pais.

El gasto medio de un camino de hierro bien construido con su carrilera doble no bajará en Inglaterra de unas 5,000 libras estérlinas por milla, comprendiendo en ello todos los por menores que acabamos de indicar, y suponiendo que todas las obras sean muy sólidamente concluidas (1). Ahora bien, si el riesgo que se corre en emplear uno su dinero en un camino de hierro, junto con el tiempo que habrá que esperar para cobrar intereses y repartir un dividendo, es equivalente al riesgo que se corre en emplearlos en una empresa de canales (en lo que no creemos quepa una gran diferencia) el reintegro debe regularse en $8\frac{1}{2}$ por ciento del capital con corta diferencia y suponiendo que el interés actual del dinero sea $3\frac{1}{2}$ por ciento, el dividendo anual que reembolsará el capital empleado deberá ser por cada milla $\frac{5000}{8\frac{1}{2}+\frac{3\frac{1}{2}}{2}}$ = poco mas de 417 libras estérlinas (10425. fr.).

Los reparos, recomposiciones y otros gastos anuales relativos á los artículos 2, 3, 4 y 5 no subirán á menos de 5 por ciento de su valor primero, y este puede regularse con una

(1) Mr. Chapman calculó los gastos del camino de hierro de Newcastle á Carlisle en 3915 estérlinas por milla, y con las mejoras propuestas por Mr. Jessop subirá seguramente á la cantidad que hemos designado por término medio. En el periódico Quarterly Review, n.° 62, pág. 363 se dice que el término medio general del costo de un gran número de caminos de hierro, ya de carriles estrechos, ya de planos, unos de hierro forjado, y otros de colado, entre todos los cuales componen mas de 500 millas, viene á ser con corta diferencia 4000 libras estérlinas por milla, con doble carrilera. Y advierte el autor del artículo con mucha razon que si se atiende á la imperfeccion que tienen todos estos caminos antiguos hay fundamento para creer que el término medio de su costo, si se hiciesen de nuevo llegaria á las 5000 libras estérlinas por milla.

exactitud suficiente para nuestro objeto á 2000 libras estérlinas por milla. El gasto anual será pues de 100 libras estérlinas por milla; el de los costos de recaudacion, empleados etc. puede subir á 40 libras estérlinas por milla, lo que hace un gasto anual total de 417 + 100 + 40 = 557 libras estérlinas (13925. fr.) por milla.

Como una libra estérlina tiene 240 peniques; y el año 312 dias de trabajo en Inglaterra tendremos $\frac{557 \times 240}{312} = 428$. Y asi, obligando á pagar un penique (10½ cent.) por tonelada y milla, necesitan ser los transportes de 428 toneladas por dia sin incluir los gastos del motor. Mas si los transportes no pasan de la mitad de los dichos, es preciso subir los derechos á 2 peniques (21 cent.) y por este órden á proporcion.

Este ejemplo puede ya dar alguna idea de la cantidad de transportes que se necesita para que un camino de hierro pueda ser una empresa de utilidad; y para hacer comprender aun mejor la estension que debe tener el tráfico en un camino de esta especie, diremos en términos mas claros y perceptibles que es preciso que 142 carros, cargados con 3 toneladas cada uno, corran cada dia toda la linea del camino, si no han de pagar mas que un penique (unos 14 mrs.) y 71 carros todos los dias con la misma carga de 3 toneladas si se les hacen pagar 2 peniques (28 mrs.) por tonelada y milla.

El derecho de 2 peniques por tonelada y milla es el mas fuerte que se debe permitir pagar para cubrir el gasto de un camino de hierro; de manera que siempre que no se pueda contar bajo una racional probabilidad con un peso diario de mas de 200 toneladas, será muy dudoso que un camino de hierro pueda ser una especulacion ventajosa para una empresa particular.

El gasto medio de un canal en igualdad de circunstancias puede regularse en el doble de un camino de hierro, esto es, en 10,000 libras estérlinas por milla (1). Los gastos de con-

(1) El autor del artículo citado del Quarterly Review pone una lista de presupuestos de 75 canales de Inglaterra en la cual hallaran los que han salido mas caros y tambien los mas baratos, y deduce por término medio el de 7946 libras estérlinas por milla, en la construccion de un canal. Pero es bien sabido que esta clase de obras muy rara vez ó nunca se han hecho por el costo que arrojan los tales presupuestos. Antes por el contrario, hemos tenido casos en que han costado doble de lo que en ellos se calculaba, como sucedió al canal de Coventry, al de Birmingham, y de Fazely, al Grand Trunk y otros varios. El canal de la Union costó 32,000 libras estérlinas por milla, y el de Forth and

servacion y demas han de ser tambien mucho mayores, y por consiguiente, para que los derechos no sean mucho mas subidos que los de un camino de hierro es preciso que la cantidad de toneladas que se conduzcan cada dia por el canal sea poco menos que doble; si ha de dar los mismos ingresos para el reembolso del capital. La ventaja de los canales depende únicamente de la cantidad de mercancías que puede ponerse en movimiento por una potencia determinada. Pero dejaremos esta comparacion para despues de hecho el avaluo del gasto que ocasionan las diferentes especies de motores.

Una carretera regular de 16 pies de ancho (48, 6 decim.) bien construida costará por un término medio al pie de 1500 libras estérlinas por milla, comprendido el valor del terreno, y si los acarreos son considerables no bajarán los gastos de conservacion de 100 libras estérlinas por milla al año. Ahora bien, suponiendo que pueda contarse con un adeudo diario de derechos, y que el capital empleado se haya tomado al 5 por ciento cargando en cuenta la perdida del tiempo destinado á poner el camino en estado de percibir los portazgos no será el gasto anual de menos de 200 libras estérlinas con gastos de administracion, y en este caso el número de toneladas que haya de pagar derechos, y se necesita para cubrir todo este gasto suma $\frac{200 \times 240}{312} = 154$ cada dia si se quiere que el derecho no pase de un penique por tonelada y milla.

Parece, pues, que una carretera en que se paguen derechos, traerá beneficio cuando las conducciones que se hagan por ella, no llegan á $\frac{1}{3}$ de las que hacen lucrativo un camino de hierro, suponiendo que los derechos sean los mismos.

Estas comparaciones nos llevan por la mano á la otra parte de nuestro exámen, es á saber, cual es el gasto que ocasiona el uso de las diversas especies de motores.

El gasto relativo de los varios motores que se pueden emplear en un camino de hierro es un punto curioso de indagacion; y siendo necesarios los mismos datos para evaluar el gasto absoluto por un tiempo dado y para un lugar cualquiera, será útil entrar en algunos pormenores á propósito para facilitar los cálculos de los que gusten comparar los costos de diferentes motores.

Clyde 12,400 idem; que es decir que salieron á 192,000 francos por kilometro, ó sea cosa de unos 4,224,000 reales vellon por legua castellana.

El gasto anual de un caballo se reduce: 1.° al interés del dinero que costó; 2.° á la diminucion de su valor; 3.° al riesgo de perderlo; 4.° al valor de su pienso; 5.° al de sus arreos y herraduras que gaste; 6.° al alquiler de la cuadra; 7.° al salario del mozo que le cuida; 8.° y á las utilidades del empresario.

Segun la duracion media de un caballo de la especie mas á propósito para el servicio de un camino de hierro, los tres artículos primeros pueden reducirse á $\frac{1}{4}$ del precio que costó. El pienso, arreos, herrage etc. no pasarán de 40 libras estérlinas al año; y suponiendo que un mozo cuide de 2 caballos á 2 chelines (2. fr. 50. c.) al dia, subirá el gasto 15 libras estérlinas y 12 ch. mas. Por este órden, el trabajo de un caballo del precio de 20 libras estérlinas llegará á 60 est. y 12. ch. (mas de 1500 fr.) al año, ó tendremos que siendo 312 los dias de trabajo al año el gasto diario de un caballo será de 3 chelines $10\frac{1}{2}$ peniques, ó 186 farthings (unos 19 rs:) y comprendiendo el beneficio del empresario 216 farth. ó 5 fr., 62 cent. por dia.

Pero la fuerza de un caballo que corre 3 millas (4826 met.) por hora, y trabaja 6 horas cada dia, es de 125 libras (17 kil. casi). Luego andará 18 millas; y $18 \times 125 = 2250$ libras, lo que rebajado el peso del carro nos da $\frac{3}{4}$ de tonelada por milla; y ya hemos hecho ver que no es probable que la fuerza motriz pueda transportar mas de 144 veces su equivalencia en peso, ó los $\frac{3}{4}$ de $144 = 108$ toneladas por una milla.

Luego los gastos de conduccion con caballerías por un camino de hierro excederán en un farthing, (cosa de $3\frac{1}{2}$ mrs.) en la proporcion de 216 á 108 por lo que hace al motor solamente, es decir, que se puede calcular que costará 2 farth. (5 cent.) la tonelada por milla la conduccion de géneros con caballerías por un camino de hierro.

El gasto anual de una máquina loco-motriz de alta presion se reduce á: 1.° el interés del capital empleado en construirla; 2.° el menoscabo que tiene; 3.° los riesgos accidentales; 4.° el importe del carbon y agua; 5.° las recomposiciones etc.; 6.° los salarios de los empleados; 7.° y las utilidades del empresario.

Difícil es averiguar estos pormenores de la esperiencia de los que manejan las máquinas de vapor; calcularemos pues, por via de ejemplo, sobre cantidades que creemos suficientes para cubrir el costo. El importe de la máquina y su carro puede regularse en 50 libras estérlinas por cada caballo de fuerza que represente; y los riesgos y menoscabo que puede padecer

en 10 libras estérlinas por caballo de fuerza, ó un gasto anual de la quinta parte del capital empleado. El gasto de combustible y agua por dia no será menos de 125 libras (57 kil.) de carbon de piedra y 14 pies cúbicos de agua (398 litr.). Suponiendo que el carbon ande á medio chel. la medida de cosa de una fanega, y el agua y costo de cargarla juntamente con el combustible suban á 3 peniques, el gasto anual será de 15 libras estérlinas y 12 chel. Las recomposiciones y demas á razon de 20 por ciento del capital gastado serán cosa de 10 libras estérlinas que es lo menos que pueden costar. Se necesitan un hombre y un mozo de ayudante suyo para cuidar de una máquina de la fuerza de 6 caballos, á razon de 6 chelin. por ambos, ó de un chel. por caballo de fuerza, que hacen 15 libras estérlinas y 12 chel. al año. Por consiguiente el gasto total anual para una máquina de la fuerza de un caballo será de 51 est. y 4 chel. (1280 fr.) al año, ó de 158 farth. cada dia. Esta fuerza es igual á 3000 libras ó á $1\frac{1}{3}$ toneladas por milla en cuanto á la fuerza de tiro, ó rebajando el peso de los carros á una tonelada por milla al dia, y $144 \times 1 = 144$ toneladas por milla sobre los carros, lo que hace subir los portes á $\frac{158}{144} = 1,1$ farth. (2, 85 cent.) por milla, ó á $1\frac{1}{3}$ farth. (3, 4 cent.) por milla incluyendo las utilidades del empresario, y todos los demas gastos estraordinarios que pueden ocurrir en un camino de hierro en que se usan carros de vapor.

Parece segun estos cálculos que siempre que un camino no se aleje de las minas de hornaguera bastante para que el precio medio de un carbon igual en calidad al de Newcastle, no suba á mas de 6 peniques (62 cent.) por medida de 125 libras ó de 13 chel. 5 pen. (16 fr. 80 cent.) por tonelada; una máquina loco motriz será $\frac{3}{5}$ menos costosa que las caballerías. Pero se ha supuesto en estos cálculos que $1\frac{1}{2}$ medidas de carbon de las que hacen 125 libras produce el mismo efecto cada dia que la fuerza de un caballo, y que por consiguiente son superiores las máquinas á las que se usan hoy dia: se ha supuesto ademas que el sobrante de vapor sirve para calentar el agua de la caldera, y hace inútil el uso de las calderas que se colocan á orilla del camino para surtirse de agua caliente (1).

(1) El carbon necesario para producir un efecto útil de 144 toneladas conducidas á una milla (1609 met.) sube segun nuestro cálculo á una y media medidas (57 kil.), esto es, á 0, 395 kil por tonelada y milla; y como se han hecho algunas que otras esperiencias sobre el particular, será bueno las comparemos.

Cuando el vapor obra por espansion, se consigue mas efecto con la misma cantidad de combustible, pero se necesitan entonces mayores cilindros.

El gasto anual para hacer andar un tren de carros por me-

En una esperiencia hecha en la mina de hornaguera de Killingworth el 17 enero 1825. 12 carros cargados con 54 quintales (2756 kil. poco mas ó menos) cada uno, anduvieron dos y media millas en 40 minutos, remolcados por una máquina loco-motriz que consumió cuatro y media pecks (medida llamada asi pico) de carbon para producir este efecto. El pico de Newcastle es de 34 y media libras; pero supondremos que el de la esperiencia fuese el pico comun, cuarta parte del bushel y que pesa 21 libras (9 y medio kil.). Segun esto la cantidad de carbon empleada será de 94 y media libras (42, 67), y el efecto ó las 32, 4 toneladas conducidas á dos y media millas es equivalente á 81 toneladas, transportadas á una milla; ó bien ha sido preciso gastar 17 libras (casi 5 hectogr.) de carbon para conducir una tonelada á dos millas. Debe saberse que la caldera de vapor iba surtida de agua caliente.

En otra esperiencia 8 carros con 21, 6 toneladas de carbon fueron remolcados dos y media millas en 36 minutos con 4 picos de carbon, lo que equivale á una tonelada transportada á una milla por 1, 55 libras (7 hectogr.) de carbon.

En otra tercera esperiencia 6 carros con 16, 2 toneladas de carbon fueron remolcados dos y media millas en 32 minutos con 5 picos (47, 3 kil.) de carbon lo que equivale á una tonelada conducida á una milla por 2, 6 libras de carbon (1, 18 kil.).

El término medio de estas tres espresiones es 1, 74 libras de carbon. Parece evidente que esta irregularidad ha sido causada por el estado del vapor que se hallaba muy fuerte al principio de los esperimentos, y débil al fin. Los carros subian por espacio de una y cuarto milla por un camino cuya pendiente era de una parte por 791, y bajaban despues por el mismo plan, de manera que el efecto medio debió ser poco mas ó menos el mismo que si el camino hubiese estado á nivel.

El resultado de estas esperiencias nos ha movido á establecer por base en el discurso de esta obra, que se necesitaban en los caminos de hierro de Newcastle cerca de 3 bushels ó fanegas de carbon de aquel país (115 kil.) para producir el efecto que en la regulacion de las máquinas de vapor se llama fuerza de un caballo; pero una esperiencia mas fresca prueba que se puede conseguir con menos. Resulta efectivamente de un esperimento hecho en Killingworth el dia 22 de enero de 1825 que 12 carros que contenian $33\frac{3}{4}$ toneladas de carbon, fueron conducidos á la distancia de 9 y media millas por un carro de vapor que consumió para producir este efecto 360 libras (164 kil.) de carbon. Luego $33\frac{3}{4} \times 9, 5 = 320\frac{5}{8}$ toneladas conducidas á una milla, y $\frac{360}{320\frac{5}{8}} = 1\frac{1}{8}$ libra por tonelada y milla poco mas ó menos, lo qué da una diferencia de cerca de $\frac{1}{4}$ de libra por tonelada y milla respecto á la proporcion que sentabamos. El camino y las máquinas habian servido ya durante algunos años, á escepcion de una corta parte del camino que se ha hecho en hierro forjado, y en la cual se notaba aumento de velocidad en los carros. Pero como un camino de carriles de hierro debe durar bastantes años para ser útil al público, el estado en que se hallaba el camino puede considerarse como un término medio bastante exacto; pues bajo otros respectos no se puede negar que la esperiencia se hizo indudablemente para presentar el resultado por el punto de vista mas favorable. Hubiera sido algo mas acertado para nuestro propósito tener el dato fijo del carbon consumido en el espacio de un mes, y el de la cantidad de carbon conducido en el mismo espacio de tiempo á una distancia determinada de la mina.

dio de máquinas de baja presion, las cuales los ponen en movimiento por medio de unas cadenas sin fin debe reducirse.

1.° Al interés del capital gastado en la construccion de la máquina, del edificio en que se coloca, pozos, depósito y bombas; compra del terreno en que se hacen estas obras, cadenas, cilindros y demas piezas de que se compone su mecanismo.

2.° Al menoscabo que tiene, y seguros que hay que pagar.

3.° Gastos de recomposicion y renovacion.

4.° Combustible y agua.

5.° Salarios de los empleados.

6.° Y utilidad del empresario.

Este modo de emplear la fuerza está limitado precisamente á los casos en que sean muy cuantiosas las conducciones; y debe regularse por lo tocante al gasto de toda la estension del camino, de la misma suerte que se avalua el gasto del camino mismo. De lo contrario no podria lograrse un resultado exacto; pero sin necesidad de formar el cálculo, puede asegurarse que el resultado será con cortísima diferencia igual á la quinta parte del gasto que ocasionará el camino mismo de hierro.

Asi que, sea el que se fuese el aráncel de derechos que se juzguen necesarios para cubrir el gasto del camino, será preciso aumentarle $\frac{1}{5}$ para gastos del motor, cuando la cantidad de géneros que paguen el derecho sea equivalente á 428 toneladas por dia, ó $1\frac{1}{4}$ farth. por tonelada y milla.

Restanos averiguar otro gasto, antes que tengamos todos los datos para fijar lo que debe pagarse por el porte de las mercancías, y es el de los carros y gente que los conduce, sea que se gasten máquinas loco-motrices sea que se usen las fijas ó estables.

El capital empleado en carros será por un término medio cosa de 10 libras estérlinas por tonelada, y regulándose las recomposiciones en una estérlina por tonelada al año, el gasto anual será de unas 2 libras estérlinas por tonelada al año, ó de 7 farth. (18 cent.) al dia por tonelada incluso el beneficio. Si se pone un hombre por cada carro ó cada tanda de carros que lleve 6 toneladas, el gasto diario á 2 chel. y 4 pen. será 112 farth. El gasto en carros $6 \times 7 = 42$ farth. y el total por dia 154 farth. ó 26 farth. por tonelada y dia sobre poco mas ó menos.

Ya estamos al presente en estado de comparar las diferen-

tes especies de motores, y los costos de portes con arreglo á los avaluos medios, lo que nos llevará como por la mano á hacer cualesquiera otros avaluos mas exactos, cuando se pidan para una línea particular de otro camino.

Costos de portes con caballerías. Hemos visto que el gasto de un caballo y de su conduccion es de 216 farth. al dia; y que el de un carro cargado con 6 toneladas es de 42 farth. diarios lo que hace un total de 258; y siendo la jornada de 18 millas cuando el paso es de 3 por hora, y el efecto del motor de 125 libras (57 kil.) lo que equivale á $6 \times 18 = 108$ toneladas conducidas á una milla y á $\frac{258}{108} = 2,4$ farth. (6, 3 cent.) por tonelada y milla.

Hemos visto tambien que cuando las conducciones llegan á 428 toneladas diarias, el derecho que ha de percibirse para cubrir los gastos del camino de hierro, debe ser de 4 farth. (10, 5 cent.) por tonelada y milla; y de consiguiente la totalidad de gastos de conduccion será en este caso de 6 farth. y $\frac{4}{10}$ por tonelada y milla (10, 5 cent. por tonelada y kil.)

Si los transportes no llegasen mas que á 200 toneladas diarias, los costos serian de 10, 4 farth. por tonelada y milla; pero si subiesen á 856 toneladas diarias, el derecho para cubrir los gastos del camino, seria solo de 2 farth. ó el gasto total de 4, 4 farth. Podremos poner 5 farth. (13 cent.) pues con tal tráfico todo se estropea mas pronto.

El capital que seria preciso espender en un canal en que se hiciese un tráfico de 856 toneladas diarias, exigiria un derecho de un farth. por tonelada y milla, y siendo el trabajo diario de un caballo de unas 22 toneladas conducidas á 23 millas (1) ó 506 toneladas á una milla, tendriamos $\frac{216}{506} = 0,427$, lo que hace 4,427 farth por tonelada y milla, sin incluir los costos de conservacion de barcos y de los barqueros que les conduzcan. Puede, pues, inferirse de estos cálculos que siem-

(1) Smeaton da por sentado que el trabajo de un caballo que lleva á la sirga los barcos de un canal es de 22 toneladas conducidas con una velocidad de dos y media millas por hora; y Mr. Bevan nos ha hecho saber que los caballos de Grand Junction andan regularmente 26 millas cada dia remolcando un barco con 24 toneladas de carga, y que el paso es de 2, 45 millas por hora. Siendo el barco vacio de unas 9 toneladas, la masa total puesta en movimiento viene á ser de unas 33 toneladas. El mismo Bevan ha hallado que la fuerza media de tiro no era mas que de 80 libras (36 kilogr.)

pre que sean menos de 1000 las toneladas diarias que haya que conducir por un canal, costarán mas por este medio que por un camino de hierro, aun cuando se usen caballerías en este y se camine mas despacio. En una carretera general, el efecto útil mas considerable no es, por un término medio, mas que de $\frac{3}{4}$ de tonelada conducidos á 18 millas por un caballo en cada jornada, ó 13, 5 conducidas á una milla. Y suponiendo que el gasto del caballo y del mozo sea 216 farth. y el del carro 7 farth. tendremos $\frac{223}{13,5} = 16$ farth. por tonelada y milla por los costos del motor y del mozo.

Cuando el tráfico en una carretera de estas es de 206 toneladas diarias es preciso añadir 3 farth. de derechos, lo que hará 19$\frac{1}{2}$ farth. ó casi 5 peniques (52 cent.) por tonelada y milla que son casi el doble de gastos de porte que tendrian en un camino de hierro, por el que se hiciese el mismo tráfico.

Cuando el tráfico no pasa de 100 toneladas diarias, los costos de un carro son con corta diferencia los mismos en un camino de hierro que en una carretera; pero en esta hay la facilidad de entregar ó dejar las mercancías en cualquier punto del camino, sea el que fuere, lo que no en un camino de hierro.

Costos de portes con máquinas loco motrices. Somos de dictámen que los carros que se conducen por este medio no deben andar mas aprisa que á razon de 6 millas por hora ó 60 millas diarias; y á este paso los gastos de carros y carreteros serian de 26 farth. por tonelada y cada 60 millas, ó $\frac{26}{60} = 0,433$ farth. (1 cent.) por tonelada y milla que añadidos á 1, 333 farth. del carro de vapor, combustible y conductores sube á un total de 1, 766 farth. por tonelada y milla (2, 85 cent. por tonelada y kilom.) ó á cosa de $\frac{3}{4}$ del gasto con caballos. Pero si los caballos hubieran de correr con la misma velocidad, los costos con la máquina de vapor no serian mas que los $\frac{3}{7}$ de los que harian los caballos. A esto hay que añadir los derechos que se pagan en el camino de hierro, que son poco mas ó menos iguales, sea el que se fuese el motor que se use.

Costos de portes con máquinas fijas ó estables. Los gastos con esta especie de motor serian con corta diferencia los mismos, supuesta la velocidad igual que con las loco-motrices. Por el mismo órden referido hallamos que suben á 1, 683 fart. por tonelada y milla (2, 71 cent. por tonelada y kilom.)

En uno y otro caso, cuando las conducciones pasan de 800 toneladas diarias el gasto total en derechos, carros y motor es de menos de un penique por tonelada y milla (6, 5 cent. por kilom.) que es decir importa menos que los derechos solos que hay que pagar en un canal por la misma cantidad de géneros, aunque las utilidades sean iguales en ambos casos. Y asi cuando el tráfico diario sea menos de 1500 á 1600 toneladas, siempre será el camino de hierro el medio mas económico de conduccion á no ser que se trate de un pais que esté convidando con mil proporciones á la abertura de un canal.

Y si traemos ahora á la memoria que por un camino de hierro pueden ser conducidas las mercaderías dos veces mas pronto que por un canal, y eso sin aumentar los gastos, no habrá quien deje de pensar igualmente que nosotros, que rara rarísima vez debe preferirse la abertura de un canal á la construccion de un camino de hierro. Es de creer que si se hubiesen aplicado á los canales unos métodos de valuar los costos semejantes á los nuestros, no hubieramos visto tan repetidos ejemplos de empresas sin utilidad alguna, por no llamarlas ruinosas.

Habiendo hecho ya ver los gastos relativos de los varios modos de transporte con respecto á las mercancías, y á la estension de comercio á que es aplicable cada uno, examinaremos, no sin esperanza de que se saque fruto, cual es la estension de un camino de hierro que puede ofrecer probablemente utilidades. Siempre que haya que andar pasando las cargas de un carro á otro puede suponerse que los costos de cada mudanza no bajarán de 3 peniques (3½ cent.) por tonelada. Si los objetos son carbon de piedra, minerales ó cosas de esta naturaleza, aconsejamos ponerlos desde luego en cajas semejantes á las que ha tiempo se usan en el Wear para medir el carbon, cada una de las cuales viene á caber la carga de un carrillo de á un caballo, y hecha de modo que pueda ser llevada á su destino por uno de estos carrillos. El traspaso se haria muy brevemente mediante una cabria dispuesta al intento, y el carbon no se desmenuzaria, ó no se estropearian los géneros que corriesen este peligro.

Siendo los gastos de transporte por un camino real 5 peniques (5½ cent.) por tonelada y milla; y por uno de hierro 2 peniques idem, resulta con evidencia que no puede haber ventajas en un camino de hierro de solo 2 millas de largo cuando las mercancías se han de andar mudando de carros para ser llevadas á sus respectivos destinos, y aun es verosimil que los

gastos é inconvenientes de un género de conduccion semejante hiciesen de muy mediana utilidad para el comercio general un camino de 5 á 6 millas.

Como los planos inclinados no solo son un inconveniente sino tambien un medio costoso de salvar una cuesta ó atravesar un valle, es importantísimo en la teoría de los caminos de hierro determinar qué minoracion de una cuesta puede compensar los costos de una escabacion de cierta y determinada cantidad de tierra.

La pérdida en las subidas y bajadas por planos inclinados depende de dos circunstancias: la primera es la prolongacion efectiva de la línea que hay que andar, y la segunda la pérdida de fuerza en proporcion del rozamiento y la sobrecarga: tambien son mas los gastos de conduccion.

Llamemos f la pérdida que resulta de la sobrecarga; i el ángulo de inclinacion, á que puede reducirse el plan, siendo h el ángulo primitivo de inclinacion; y en fin llamemos F la resistencia de los carros cuando la carga total es de $1\frac{1}{3}$ tonelada en el camino á nivel, esto es, cuando la carga efectiva es de una tonelada.

Entonces la fuerza sobre los carriles á nivel será igual á la pérdida de fuerza en toneladas por milla á la subida, y, cuando la longitud de la base de la cuesta es de tantas veces 13 pies ingleses (.91 cent.), como $1760 : \frac{1}{\cos h} :: f' F \text{ sen } h$: $\frac{l f' F \text{ sen } h}{1760 \cos h} = \frac{l f' F \text{ tang } h}{1760}$ Y cuando la bajada es la misma, la pérdida de fuerza á la bajada será = o. Por el mismo raciocinio se halla que la pérdida de fuerza sobre la inclinacion i es igual á $\frac{l f' \text{ tang. } i}{1760}$. Por consiguiente la diminucion de pérdida por la reduccion de la inclinacion á un ángulo cualquiera i, es $\frac{l f' F}{1760}$ (tang. h — tang. i).

Si el producto anual del transporte de una tonelada á una milla es representado por a, entonces la pérdida anual causada por la subida y bajada será $\frac{l f' F a}{1760}$ (tang. h — tang. i).

Para hallar el gasto anual causado por la mayor largura del camino de hierro llamemos E el gasto por milla y $\frac{E}{p}$ la

renta anual que ha de servir para reembolsar el capital empleado, entonces $\frac{l\,E}{880\,p}$ (sec h — sec i) = al valor anual de aumento en la longitud del camino, lo que es igual á $\frac{l\,E}{880\,p}\left(\frac{\cos i - \cos h}{\cos h \times \cos i}\right)$ de que se saca por pérdida total anual

$$\frac{1}{880}\left(\frac{1}{2}\,f'\,Fa\,(\text{tang } h - \text{tang } i) + \frac{E}{p}\left(\frac{\cos i - \cos h}{\cos h \times \cos i}\right)\right)$$

Ahora bien, para que no haya sobrante alguno de gasto escavando y acarreando tierras, será preciso que el interés de los capitales empleados para hacer estas obras no esceda la suma arriba dicha.

Los costos de movimiento de tierra de una parte á otra se avaluan en Inglaterra por yarda ó vara cúbica (la yarda es 3 pies ingleses ó mas de 91 centim. ó unas 39 pulgadas castellanas). Sea b = á la anchura en yardas, c el importe del acarreo de una yarda de tierra en fracciones de la libra, y n la base de la pendiente de cada lado del camino cuando su altura es la unidad: l en la ecuacion anterior es la mitad de la línea de la base en yardas.

El corte sobre cada inclinacion será compuesto de un sólido en forma de cuña, y de dos pirámides triangulares, y las dos cuñas sólidas contendrán en yardas cúbicas $b\,l^2\,(\text{tang } h - \text{tang } i)$ y las 4 pirámides contendrán $\frac{4\,n\,l}{3}[l\,(\text{tang } h - \text{tang } i)^2]$ de yardas ó varas cúbicas.

La suma de las cantidades por el interés es $\frac{l^2\,c}{3\,p}[3\,b\,(\text{tang } h - \text{tang } i) + 4\,n\,l\,(\text{tang } h - \text{tang } i)^2]$; y para que no haya pérdida haciendo cortes ó alzando el terreno es preciso que haya $\frac{l^2\,c}{3\,p}[3\,b\,(\text{tang } h - \text{tang } i) + 4\,n\,l\,(\text{tang } h - \text{tang } i)^2]$

$$= \frac{1}{880}\left(\frac{1}{2}\,f'\,Fa\,(\text{tang } h - \text{tang } i) + \frac{E}{p}\left(\frac{\cos i - \cos h}{\cos h \times \cos i}\right)\right)$$

Si se le substituye d, espesor del corte en la cúspide de á l (tang. h — tang i) que le es igual, tendremos $\frac{l\,c}{3\,p}(3\,b\,d +$

$$4 n d^2) = \frac{\frac{1}{2} f' Fa\ d + \frac{1}{p} E \left(\frac{\cos i - \cos h}{\cos h \times \cos i} \right)}{880}$$

Si despues que se ha reducido la inclinacion, el camino de hierro se encuentra á nivel, entonces cos i = 1 y el error que se puede cometer suponiendo que cos i tenga este valor en todos los casos no será de gran importancia. Y de esta suerte se tendrá una equacion cuya incógnita se hallará despejada de términos que la compliquen. Tendremos, pues,

$$d = \sqrt{\frac{E\ (1 - \cos h)}{1173\ cn\ \cos h} + \left(\frac{3\ b\ p\ f'\ Fa}{8\ n\ 4963\ l\ cn} \right)^2} \frac{3\ b}{8} + \frac{p\ f'\ Fa}{4963\ l\ cn}$$

Cuando $F = \frac{1}{144}$ de $1\frac{1}{3} = 108$, $f' = \frac{1}{2}$, $p = 25$, $n = 1$, $b = 8$ yardas, $E = 2500$ libras esterlinas $a = 700$ libras esterlinas, $c = \frac{1}{160}$ libras esterlinas, tendremos $\sqrt{\frac{340\ (1 - \cos h)}{\cos h} + \frac{(31 - 1,3)^2}{l^2}} - \frac{31 - 1,3}{l} = d$ por profundidad del corte.

O bien se tiene por valor bastante aproximado en la práctica cuando la longitud de la pendiente es considerable (1) $\sqrt{\frac{340\ (1 - \cos h)}{\cos h}} + 9 - 3 = d$.

En esta ecuacion cos h es el coseno del ángulo de la pendiente natural del terreno, y d la profundidad del corte desde la cúspide, y contada en yardas.

Es fácil de juzgar por estas ecuaciones que es mucho menos costoso seguir poco mas ó menos las ondulaciones de la superficie que el hacer sea grandes cortaduras del terreno ó sea terraplenes que pasen de aquellos límites que pueden determinarse fácilmente en cosa de media hora, aplicando estas ecuaciones al caso particular que haya que examinar. Hemos reducido el caso á guarismos y manifestado el modo de reducir las ecuaciones al caso de un camino de un costo regular: aña-

(1) La ecuacion general puede reducirse tambien á esta

$$\sqrt{\frac{E\ (1 - \cos h)}{1173\ cn\ \cos h} + \left(\frac{36}{8\ n} \right)^2} + \frac{36}{8\ n}$$

diendo ahora algunos ejemplos, quizás contribuiremos á desarraigar esas ideas estravagantes de remover tierra, bien allanando alturas, ó bien colmando barrancas que hacen gastar los capitales de la nacion en especulaciones ruinosas. Unos gastos tan disparatados hacen funesta toda empresa, sino acaban con el caudal de los mismos que las ejecutan; ademas distraen una multitud de brazos para estos grandes pedidos de gente, lo que no puede menos de perjudicar al pais disminuyendo la cantidad de trabajo útil y permanente.

Ejemplo 1.° En un caso que la línea de un camino de hierro atraviese una cuesta, cuya pendiente natural haga un ángulo de 5 grados con el horizonte se pregunta qué profundidad debe darse al corte en la cima, y qué altura al terraplen en el valle para que no se aumente el costo de los transportes por dicho camino.

La tabla de los senos naturales da al coseno de 5 granos, 0, 99619; por consiguiente $\sqrt{\frac{340\ (1-0,99619)}{0,99619}} + 9 - 3 = 0,2$ yardas, ó sean 2 décimas de 3 pies, ó $\frac{2}{3}$ de pie, cosa de 8 pulgadas castellanas; lo que hace ver que es mas económico emplear una fuerza mayor que el disminuir la pendiente mas de $\frac{2}{3}$ de pie inglés, ó sea unas 8 pulgadas castellanas.

Ejemplo 2.° Si la pendiente natural del terreno hiciese un ángulo de 12 grados, entonces, coseno $12° = 0,97815$ y $\sqrt{\frac{340\ (1-0,97815)}{0,97815}} + 9 - 3 = 1,06$ yardas.

Ejemplo 3.° Si la pendiente natural de una colina es de 45.° el coseno de $45 = 0,7071$, y $\sqrt{\frac{340\ (1-0,7071)}{0,7071}} + 9 - 3 = 9,2$ yardas, lá cantidad que puede rebajarse lá cuesta en la cima, ó la que podrá elevarse el terraplen en el valle. Los cortes ocasionan un aumento considerable de gasto cuando pasan de aquellas proporciones que son independientes de la longitud del desmonte, porque de cualquiera de las dos maneras que sea, el exceso de gasto es proporcional á la longitud. En estos cálculos hemos despreciado incluir la mayor cantidad de terreno necesario para hacer los desmontes ó terraplenes, y hemos hecho la cuenta á $1\frac{1}{2}$ penique por yarda, tanto de escavacion como de terraplen, lo que viene á hacer 3 peniques por yarda cúbica de movimiento de tierra (42 mrs. de

Castilla ó $1\frac{1}{4}$ real de vellon.) Este es el avaluo que hemos adoptado para la ecuacion; y asi cuando los costos de cava y movimiento de tierra son diferentes es preciso dar mayor ó menor corte ó profundidad al desmonte, segun es mayor ó menor el precio sobre el que aqui hemos calculado.

Casos hay en que pueden evitarse las cuestas, y llevar un camino á nivel, dando algun rodeo. Para saber que longitud de camino será equivalente al paso derecho por la cuesta, podemos volver á hacer la ecuacion de antes haciendo l = á la longitud total de la inclinacion en millas; f' la pérdida de fuerza sobre los planos inclinados: F la fuerza motriz por tonelada añadida al peso del carro; a = al producto anual de una milla de camino (en este caso $\frac{E}{p}$ debe ser igual á a); h = al ángulo de inclinacion del camino sobre la cuesta; y L = al aumento en millas de la longitud del camino por el rodeo; entonces.

$$La = l\left[\tfrac{1}{2} f' Fa \text{ tang } h + a\left(\frac{1-\cos h}{\cos h}\right)\right]$$

$$l\left[\tfrac{1}{2} f' F \text{ tang } h + \left(\frac{1-\cos h}{\cos h}\right)\right] = L.$$

En el caso en que $F = \frac{1}{108}$, $f' = \frac{1}{2}$, p = 25 y a = 700 libras esterlinas la ecuacion se reduce

$$l\left(\frac{\text{tang } h}{432} + \frac{1-\cos h}{\cos h}\right) = L.$$

Ejemplo. En una línea de camino cuya longitud de base en los carriles inclinados sea de 6 millas y el ángulo de inclinacion 12.° se presenta como se ha de determinar el aumento de longitud del camino, dando rodeos para conservar el nivel de manera que salga igual el gasto por ambas líneas.

En este ejemplo, L = 6 y h = 12.° y asi $6\left(\frac{0,212}{432} + \frac{1-0.97815}{0,97815}\right) = 0,137$ de milla, ó la 7.ª parte de una milla con corta diferencia, ó sea casi $\frac{1}{44}$ de la distancia. Si fuese posible, bajo los supuestos sentados en este ejemplo, hacer un

camino á nivel que no excediese de este aumento en la longitud del camino, se deberia preferir, con tal que no se apartase demasiado de la línea recta. Cualesquiera otros casos semejantes pueden calcularse por el mismo órden.

Nos lisongeamos de haber examinado algunos de los puntos mas importantes de la teoría de la construccion de caminos de hierro, y si en nuestras investigaciones no ha sido posible encontrarnos acordes con otros que han tratado del mismo asunto, sea en cuanto al avaluo de costos de transporte, ó sea en cuanto á la velocidad con que se ejecutan las conducciones, al menos somos enteramente de la opinion de aquellos que consideran los caminos de hierro como un ramo importantísimo del sistema de transportes por tierra, y ramo que no puede dejar de estenderse mas ó menos pronto en esta nacion, segun se vaya acrecentando nuestro comercio.

Es sin duda alguna demasiado cierto que la introduccion de una nueva mejora por útil que sea, va siempre acompañada de inconvenientes y pérdidas con respecto á todos aquellos que tienen un interes en que se sigan los métodos que antes se practicaban; pero aunque se deba sentir que este mal acompañe por necesidad á todos los nuevos descubrimientos, seria absurdo querer diferir, por este solo inconveniente, la adopcion de todo adelantamiento de que puede sacar la nacion unas ventajas reales. Este apego á lo añejo, ó empeño de negarse á toda especie de mejora no debia existir ya en ningun pueblo culto, y sobre todo, caso de existir no debiera ser protegido; pues los dignos de fomento y proteccion son aquellos cuyo interés personal les mueve á aumentar mas y mas el bien general del Estado.

CAPITULO IX.

El cual contiene la esplicacion de nueve tablas muy útiles sobre la fuerza del vapor en las bombas de alta y baja presion; la cantidad de carbon equivalente á la fuerza de un caballo; el efecto de una fuerza determinada en canales, caminos de hierro y carreteras; el mayor trabajo de un caballo comparativamente en los mismos; dimensiones y peso de las barras de los carriles, y peso y espacio de varias sustancias.

TABLA PRIMERA.

MAXIMO DE FUERZA Ó POTENCIA DE UN DECALITRO DE AGUA REDUCIDA A VAPOR EN LAS BOMBAS DE ALTA PRESION.

Temperatura del vapor termómetro de Reaumur.	*Fuerza total del vapor en centim. de azogue.*	*Fuerza del vapor en kilogr. por centímetro cuadrado sobre la presion atmosférica.*	*Máximo de fuerza mecánica del vapor de un decalitro de agua en kilógramos levantados á un metro.*		*Proporcion del golpe de émbolo para lograr la dilatacion máxima del vapor.*	*Grammas de hornaguera de la mejor que convierten un de calit. de agua en vapor.*
			Apresion total.	Por espansion.		
88°,55.	88,9 cent.	0,175 kilog.	*Negativa.*	*Negativa.*		1359 gram.
90	114,3	0, 52	13900 kil.			1387
97,33.	152,4	1, 04	41700	47600 kil.	$\frac{3}{4}$	1418
108	228,6	2, 08	72700	93200	$\frac{7}{12}$	1465
115,91.	304,7	3, 15	89500	122900	$\frac{1}{2}$	1497
122,53.	381	4, 18	99400	144500	$\frac{9}{20}$	1526
128,08.	447	6, 25	106500	160900	$\frac{5}{12}$	1549
138,49.	609	7, 33	118200	184500	$\frac{3}{8}$	1594

Esta tabla da á conocer toda la fuerza del vapor de un decalitro de agua reducida á vapor á diferentes temperaturas por una máquina de alta presion. La fuerza está avaluada por kilógramas levantadas á la altura de un metro. La sesta columna indica la proporcion entre la longitud de salida del émbolo cuando trabaja á presion completa, y la que debe tener cuando se quiere que el vapor se dilate al máximo de fuerza. Pero para conseguir el mayor efecto útil, el émbolo debe hacer su entera salida durante mas largo tiempo, y este tiempo depende de la cantidad de rozamiento de las partes que hay que añadir á la máquina para producir el efecto útil. Una bomba de vapor deberia construirse de manera que la comunicacion entre el cilindro y la caldera pudiese cortarse á cada momento de la salida del émbolo, desde el señalado en la tabla para la presion completa y al arbitrio del que construye la máquina ó segun la presion que esperimente.

Esto seria preferible á lo que se usa regularmente, que se reduce á angostar el paso del vapor por medio de un mecanismo tosco que llaman muy propiamente válvula sofocante. Era natural persuadirse que todo lo que interrumpe el paso del vapor al cilindro hace perder sin provecho una parte de la fuerza. Este es un hecho que advierte y reprueba la buena teoría. Una válvula cual aconsejariamos usar á todos se conoce ya tiempo há, y parece fue inventada por Mr. Joshua Field. La fuerza del vapor que se fija en esta tabla se ha calculado por la de Mr. Taylor; y la del vapor y cantidad de hornaguera por las reglas sentadas en este tratado. (Páginas 51 y 52).

TABLA SEGUNDA.

Máximo de fuerza del vapor de un decalitro de agua en una bomba de condensador.

Temperatura del vapor termómetro de Reaumur.	*Faerza total del vapor en centim. de azogue.*	*Fuerza del vapor en kilogr. por centímetro cuadrado sobre la presion atmosférica.*	*Máximo de fuerza mecánica del vapor de un decalitro de agua en kilógramos levantados á un metro.*		*Proporcion del golpe de émbolo para lograr la dilatacion máxima del vapor.*	*Grammas de hornaguera de la mejor que convierten un decalit. de agua en vapor.*
			Apresion total.	Por espansion.		
88°,55.	88,9 cent.	0,175 kilog.	103700 kil.	163000 kil.	$\frac{4}{11}$	1359 gram.
90	114,3	0, 52	108500	177000	$\frac{15}{44}$	1387
97,33.	152,4	1, 04	115200	192800	$\frac{7}{22}$	1418
108	228,6	2, 08		213200	$\frac{10}{24}$	1465
115,91.	304,7	3, 15		223400	$\frac{2}{7}$	1497
122,53.	381	4, 18		234600	$\frac{19}{68}$	1526
128,08.	447	6, 25		240100	$\frac{3}{11}$	1549
138,49.	609	7, 33		251300	$\frac{4}{15}$	1594

Esta demuestra respecto á las bombas de condensador lo mismo que la anterior respecto á las de alta presion; y las mismas observaciones tocante al modo de cortar el vapor y punto conveniente de hacerlo convienen á estas máquinas igualmente que á las otras; solo es preciso añadir que una bomba de condensador no podria trabajar útilmente, bien sea por espansion ó de otra cualquier suerte, si la cantidad de agua de inyeccion no es proporcionada á la cantidad de vapor que se ha de condensar. La mayor parte de las figuras que hemos visto describir por el instrumentillo llamado *indicador*, prueban que cuando la bomba trabaja á toda presion la bomba de inyeccion ó la de aire no suministran bastante. Si la bomba de inyeccion y el golpe de émbolo de la de aire fueran perfectamente regulares, las líneas que indican la rarefaccion en el cilindro deberian coincidir.

Si en las dos especies de máquinas es interceptado el vapor á una parte de la salida del émbolo mas próxima al comenzar á salir que lo que hemos indicado, será preciso que el émbolo sea acabado de sacar por el volante ú otro mecanismo durante una parte de su salida.

Esta tabla ha sido calculada por las reglas que damos en las páginas 51 y 61. Es digno de observar que nuestra tabla señala $\frac{4}{15}$ del golpe, como punto verdadero en que es preciso cortar el paso del vapor, cuando tiene la fuerza de 138,9 grados de Reaumur, lo cual corresponde á 8 atmósferas. Por consiguiente, en una máquina de Woolf el segundo cilindro debe tener cuatro veces la cabida del primero, para esta temperatura. Creemos que solo la practica ha enseñado hasta aqui esta proporcion como la mejor: las demas que convienen á otras diferentes temperaturas se pueden hallar por la tabla del mismo modo.

TABLA TERCERA.

CANTIDAD DE HORNAGUERA EQUIVALENTE A LA FUERZA DE UN CABALLO, QUE SE REGULA COMUNMENTE EN 4500 KILOGRAMAS LEVANTADAS A UN METRO POR MINUTO EN LAS MAQUINAS DE ALTA PRESION CUANDO SE LOGRA EL MAYOR EFECTO POSIBLE.

Temperatura del vapor termómetro de Reaumur.	*Fuerza total en centimetros de azogue.*	*Fuerza en kilogramos por centim. cuadrados sobre la presion atmosférica.*	*Cantidad de hornaguera equivalente á la fuerza de un caballo.*		*Kilogramas levantadas á un metro representando la fuerza inmediata del vapor producido por 50 kil. de hornaguera en una máquina de alta presion.*	
			Apresion total.	Por espansion.	Apresion total.	Por espansion.
90,°	114,3 kilog.	0,52 kilog.	218 kilog.	00	501000	
97,33	152,4	1,04	74	65 kilog.	1477000	1688000
108	228,6	2,08	44	35	2481000	3213000
115,91	304,7	3,15	37	27	3000000	4121000
122,53	381	4,18	33	23	3260000	4756200
128,08	447	6,25	32	21,8	3478000	5210000
138,49	609	7,33	29	18,8	3685000	5846000

Esta ha sido formada con la tabla 1ª por el método seguido en el ejemplo de la página 52 para calcular las cantidades de hornaguera equivalentes á la tarea diaria de un caballo, suponiendo la fuerza de un caballo igual á 4500 kilogr. levantadas á un metro por minuto. El número de kilogr. levantadas á un metro de altura por 50 kilogr. de hornaguera ha sido calculado por proporcion de la tabla 1.ª Esta es la potencia absoluta de la máquina. Para deducir el efecto útil seria preciso rebajar el rozamiento de las partes que se agregan para producir este efecto.

TABLA CUARTA.

Temperatura del vapor. Escala de Reaumur.	*Fuerza total en centímetros de azogue.*	*Fuerza en kilógramos por centim. cuadrados sobre la presion atmosférica.*	*Cantidad de hornaguera equivalente á la fuerza de un caballo.*		*Kilogramas levantadas á un metro que representan la fuerza del vapor producido por 50 kilog. de hornaguera en una máquina de alta presion.*	
			Apresion total.	Por espansion.	Apresion total.	Por espansion.
88°,55	88,9 cent	0,17,5 kil.	28,5 kil.	18,3 kil.	3810000	6009000
90	114,3	0,52	28,1	17,3	3885000	6390000
97,33	152,4	1,04	27,2	16,2	4066000	6808000
108	228,6	2,08		15,2		7262000
115,91	304,7	3,15		14,7		7443000
121,33	381	4,18		14,5		7698000
122,08	442	6,25		14,3		7752000
138,49	609	7,33		14,0		7897000

Esta se ha formado con la tabla 2.ª del mismo modo que la 3.ª con la 1.ª

Observaciones sobre las tablas 3.ª *y* 4.ª Las columnas que indican el número de kilogr. que una máquina deberia levantar á un metro consumiendo 50 kilogr. de hornaguera, se han añadido con el fin de ofrecer una comparacion con el resultado de la práctica actual. En el dia se mira como un dato bien averiguado por una serie de observaciones de muchos años consecutivos que una máquina de Woolf en la mina de Wheal Abraham levantaba 440,00000 libras de agua á un pie ingles de altura con 84 libras de hornaguera lo que equivale á mas de 783,6000 kil. levantadas á la altura de un metro con 50 kil. de hornaguera. Y tambien resulta de noticias tomadas en las minas del pais de Cornuallis que la fanega de buen carbon de Newcastle ó de Swansea podia levantar de 24 á 32 millones de libras de agua á la altura de un pie ingles con las máquinas de doble efecto de Mr. Watt, obrando mas ó menos por espansion, pues el efecto mayor ó menor depende del estado de la máquina, de sus dimensiones, de la velocidad de su accion y de la calidad de la hornaguera. El término medio de 28 millones de libras levantadas á un pie, equivale á 434,7000 kilogr. levantadas á un metro con 50 kilogr. de hornaguera.

Citaremos todavia los resultados del trabajo medio de 22 máquinas de vapor construidas por el método de Watt, y de 50 hechas segun el sistema de Woolf durante los seis meses primeros del año 1818 estractados de las observaciones de Mr. Lean que manifiestan puntualmente mes por mes las libras de agua levantadas á la altura de un pie ingles por una fanega de hornaguera de las de 84 libras de peso (38 kilog.)

Término medio del número de libras de agua levantadas á un metro con 50 kilogr. de hornaguera.

La cantidad media de agua levantada por las máquinas de Watt, segun las observaciones hechas con unas 22 á 25 de ellas, es de 413,5000 kilogr.

La cantidad media de la que han levantado unas 50 de Woolf es de 641,8000 kilogr.

Estas cantidades son mas cortas que las que da la potencia inmediata de las máquinas, á causa del rozamiento y de la pérdida de efecto que resulta del juego de las bombas; por manera que comparándolas con nuestra tabla, cualquiera se convencerá de que nuestros cálculos han sido hechos sobre datos fijos y

TABLA QUINTA.

La que manifiesta el efecto de una fuerza de tiro de 50 kilogramos, á diferentes velocidades, por un canal, un camino de hierro y una carretera.

VELOCIDAD.		CARGA MOVIDA POR UNA FUERZA DE TIRO DE 50 KILOG.					
		POR UN CANAL.		POR UN CAMINO DE HIERRO Á NIVEL.		POR UNA CARRETERA Á NIVEL.	
Kilometros por hora.	*Metros por segundo.*	*Masa total movida.*	*Efecto útil.*	*Masa total movida.*	*Efecto útil.*	*Masa total movida.*	*Efecto útil.*
4	1,11	27719 kil.	19678	7200	5400	900	675
4,8	1,33	19250	13790	7200	5400	900	675
5,6	1,55	14142	10039	7200	5400	900	675
6,4	1,78	10828	7687	7200	5400	900	675
8	2,22	6928	3920	7200	5400	900	675
9,6	2,66	4812	3414	7200	5400	909	675
11,2	3,11	3536	2508	7200	5400	900	675
12,8	3,55	2645	1917	7200	5400	900	675
14,4	4	2138	1514	7200	5400	900	675
16	4,44	1732	1225	7200	5400	900	675
17,6	4,88	949	675	7200	5400	900	675

exactos y que resultarán justos y cabales en la práctica. Sabemos por esperiencia propia que un pie cúbico inglés de agua (28,314 litr.) puede ser convertido en vapor con 7 libras (3,174 kil.) de hornaguera de Newcastle; pero tambien sabemos cuanto cuidado se necesita para conseguir este efecto, y por lo mismo hemos supuesto que es producido por 8,4 libras (3,8 kil.) Nuestro objeto es manifestar lo que puede conseguirse, y lo que realmente se conseguirá en la práctica.

Esta hace ver qué cantidad de efecto puede producirse por una misma fuerza de tiro á diferentes velocidades, en un canal, una carretera y un camino de hierro. Las variaciones de nivel que se salvan en los canales por medio de las esclusas pueden considerarse como equivalentes á las subidas y bajadas de los caminos de hierro y carreteras. La carga añadida al peso del barco ó carruage que la lleva, forma la totalidad de la masa puesta en movimiento; la carga sola constituye el efecto útil. Estando las masas puestas en movimiento por los canales en razon inversa del cuadrado de las velocidades, con corta diferencia, en conociendo el efecto de una fuerza determinada, á una velocidad igualmente determinada, se hallará el efecto que producirá con cualquier otra velocidad, mediante esta proporcion: el cuadrado de esta segunda velocidad es al cuadrado de la primera como el efecto de la fuerza dada con esta primera velocidad es al efecto de la misma fuerza con la segunda velocidad. Asi, cuando una fuerza dada puede con una velocidad de 4 kilometros por hora poner en movimiento 27719 kilogramas, se hallará la masa que la misma fuerza pondria en movimiento con una velocidad de 4,8 kilometros por hora, haciendo esta proporcion:

$$4{,}8^2 : 4^2 \text{ ó sea } 23{,}04 : 16 :: 27719 : 19249{,}3.$$

La fuerza de tiro por un canal varia como el cuadrado de la velocidad; pero la potencia mecánica para poner el barco en movimiento aumenta como el cubo de la velocidad. Por un camino de hierro y por una carretera, la fuerza de tiro es constante, pero la potencia mecánica necesaria para poner el carro en movimiento aumenta en la relacion de la velocidad.

Vemos por esta tabla que desde el punto que la velocidad llega á 8 kilometros por hora, se necesita menos fuerza para lograr el mismo efecto en un camino de hierro que en un canal. Hemos estendido la tabla hasta los 17,6 kilometros por hora para hacer ver á qué grado de velocidad viene á igualarse el efecto útil por un canal con el de una carretera. Comparando la fuerza de los barcos de vapor con la cantidad de toneladas que pueden llevar, podrá cualquiera asegurarse de que la lei conforme á la cual hemos hecho disminuirse la fuerza á medida que crecia la velocidad, se aparta muy poco de la verdad. Sabemos ademas que en un canal estrecho la resistencia aumenta en una razon mas rápida que el cuadrado de la velocidad, pero no podemos por ahora ocuparnos sobre este particular.

Otros autores han publicado tablas por el mismo estilo que

TABLA SESTA.

Máximo de trabajo que un caballo de mediana fuerza puede hacer con diferentes velocidades, por un canal, un camino de hierro y una carretera.

Velocidad en kilometros por hora.	*Duracion de la tarea diaria con esta velocidad.*	*Fuerza de tiro en kilogramas.*	EFECTO UTIL DE LA TAREA DIARIA DE UN CABALLO EN TONELADAS TRANSPORTADAS Á UN KILOMETRO.		
			En un canal.	*En un camino de hierro.*	*En una carretera.*
4 kilom.	11,5 horar.	37,75 kilog.	845 tonel.	187 tonel.	23 tonel.
4,8	8	37,75	588	147	19
5,6	5,9	37,75	249	131	16
6,4	4,5	37,75	166	115	14,5
8,	2,9	37,75	85	91	11,5
9,6	2	37,75	49	77	9,6
11,2	1,5	37,75	31	66	8,1
12,8	1,125	37,75	21	58	7,2
14,4	0,9	37,75	14,6	51	6,4
16	0,75	37,75	10,7	46	5,8

estas. Las que se insertaron en el *Scotsman* convienen con la nuestra con muy corta diferencia sobre la cantidad de efecto útil producido en los canales; pero disentimos en cuanto al efecto producido en los caminos de hierro, pues sus cálculos les son mas favorables. Tambien se diferencia mucho la nuestra de la de Mr. Sylvester, pues otro tanto como exagera el efecto en los caminos de hierro y carreteras, otro tanto le rebaja en los canales, segun vemos en su Memoria impresa en Liverpool en 1825.

Revisando la tabla que pusimos en la pág. 46, hemos reconocido que habia un máximo efecto que dependia de la duracion de la tarea diaria de trabajo. Esta tabla está formada sobre este máximo. En seguida pondremos los cálculos relativos á la determinacion de este máximo. Cuando los caballos se destinan ó apostan para correr en toda diligencia, es de suma importancia hacer de manera que desde el punto de partir bayan llegando al mayor correr sucesiva y gradualmente. Este solo cuidado procurará á los amos de los caballos una economía mucho mayor que lo que pueden creer. No se deben despreciar las advertencias sobre el mejor modo de fortalecerlos y adiestrarlos al trabajo sin alterar sus facultades, antes bien estudiarse con esmero.

Para amparar nuestra tabla con los resultados de la práctica en las grandes velocidades, es preciso conocer la totalidad de la masa puesta en movimiento: esta es $\frac{1}{3}$ mayor que el efecto útil indicado por la tabla. En el dia lo que andan por hora algunos de los carruages que corren con gran velocidad, son 10 millas (16 kilom.) por hora, y la velocidad media de los carruages de tiros apostados es de 9 millas (14,4 kilom.) por hora, y uno de dichos carruages tirado de cuatro caballos puede regularse que con viajeros, equipage y carga lleva un peso de cosa de 3 toneladas; por consiguiente el trabajo medio de cuatro caballos de posta es equivalente á 27 toneladas transportadas á una milla (43 tonel. transportadas á un kilom.s) ó $6\frac{3}{4}$ toneladas transportadas á una milla por cada caballo. La tabla indica en medidas métricas 5,8 toneladas transportadas á un kilometro; añadiendo $\frac{1}{3}$ á esta cantidad tenemos un poco mas de 7,7 toneladas transportadas á un kilom. como el mayor trabajo de un caballo corriendo con dicha velocidad por un camino á nivel y que se halle en buen estado. Es preciso rebajar de esta cantidad la pérdida de efecto causado por las cuestas y trozos de camino malo etc., lo que dará como trabajo medio de un caballo de posta que corre al paso que van hoy las diligencias, casi el doble del máximo que hemos señalado en la tabla. Las consecuencias de este esceso de fatiga son demasiado sabidas.

Segun las observaciones de Mr. Bevan los caballos que sirven en el canal de la *Gran-Union* transportan 617 tonel. á 1 milla (987 tonel. á 1 kilom.) con una velocidad de 2,45 millas por hora (3,93 kil.)

Hemos hecho ver en esta obra (pág. 44) que la fuerza

inmediata de un caballo está espresada por $250\ v\left(1-\frac{v}{V}\right)$ Y cuando el peso del barco ó carruage es al peso de la carga como n : 1, tenemos $\frac{250\ v\left(1-\frac{v}{V}\right)}{1+n}$ = á la fuerza efectiva. Y si llamamos d el número de horas de trabajo de una tarea, esta será $\frac{250\ d\ v\left(1-\frac{v}{V}\right)}{1+n}$ en libras transportadas á una milla, y $250\left(1-\frac{v}{V}\right)$ será igual á la fuerza de tiro en libras. Pero si la fuerza se aplicase inmediatamente, el valor de V será $\frac{14,7}{\sqrt{d}}$ Para saber el valor de V cuando los carros son los solo puestos en movimiento, tenemos $1 : \frac{1}{\sqrt{1+n}} :: \frac{14,7}{\sqrt{d}}$: $\frac{14,7}{\sqrt{d\,(1+n)}} = V$. Y la tarea diaria de trabajo $\frac{250\ dv}{1+n}\left(1-\frac{v\sqrt{d\,(1+n)}}{14,7}\right)$. Esta cantidad es un máximo cuando $\frac{96}{v^2\ 1+n} = d$. Por consiguiente cuando la velocidad es determinada, tenemos $\frac{96}{v^2\ (1+n)}$ = á la duracion de la tarea de trabajo en horas, y $\frac{8000}{v\ (1+n)^2}$ = la tarea diaria efectiva de trabajo, y $250\left(1-\frac{9,8}{14,7}\right) = 83\frac{1}{3}$ libras; pero se puede suponer que el valor de n es siempre bastante próximo á $\frac{1}{3}$ para no tener recelo de error en el resultado, empleando esta fraccion en su lugar, y entonces $\frac{72}{v^2} = d$, y $\frac{4500}{2}$ = la tarea diaria de trabajo en libras, ó con corta diferencia $\frac{2}{v}$ toneladas le-

vantadas á una milla, lo que viene á salir á $\frac{3,2}{v}$ transportadas á un kilometro. Esta última cantidad combinada con los números de la tabla anterior, da el efecto de un caballo en los canales, caminos de hierro y carreteras.

TABLA SEPTIMA.

Dimensiones y peso de las barras de hierro colado para los caminos de carriles estrechos.

distancia entre los apoyos en mètros.	*Grueso de las barras en milimet.*	PESO TOTAL SOBRE CADA RUEDA DE LOS CARROS, EN TONELADAS.							
		0,5	0,75	1	1,125	1,250	1,375	1,5	2	2,5
mètros.	*milimet.*	*peso de las barras kilogr.*	*peso de las barras kilog.*	*peso de las barras kilog.*	*peso de las barras kilogr.*	*peso de las barras kilogr.*	*peso de las barras kilogr.*	*peso de las barras kilogr.*	*peso de las barrs. kilog.*	*peso de las barrs. kilog.*
0,609	82,5	10,76	7.14	9.52	10,5[illegible]	11,9[illegible]	13,15	14,29	19,04	23,80
0,914	101,5	8.71	13,15	17,55	19,73	21,77	24.	26,19	33,92	43,65
1,066	111	11,11	16,66	22,22	24.94	27,80	30.60	32,33	43,41	55,55
1,219	117	13.38	19,84	27,75	30,15	33,56	36.96	40,13	53,51	66,8[illegible]
1,370	123.5	15,87	23,80	31,74	35,83	99,90	43,75	43.67	63,40	79,36
1.523	130			37,18	41,84	46,71	51,19	55.78	74,37	92.97
1,675	136,4			42.97	48,52	53,9[illegible]	58,40	64.51	85,94	107,48
1,828	142.8			48,98	55,33	69,4[illegible]	67,12	73,47	97,96	123,45
2,138	152,			60.93	68.90	76,6[illegible]	85.15	91,49	121,99	152,49
2,133	165 6			75,50	84,70	95,23	104,31	113,26	151	188,37
2.742	174.4			89.79	101,13	113,37	124,71	145,69	179,59	224,48
3,047	184			105,21	118 36	131,52	145.12	157,78	210,42	263
		25,4	38	50,8	57	63,5	79,8	76,19	101,6	127
		LONGITUD EN MILÍMETROS DEL BORDE SUPERIOR DE LA BARRA.								

Estas dimensiones y los correspondientes pesos son los señalados para los casos ordinarios, pero para obras importantes, la fuerza debe aumentarse bastante mas, para disminuir los riesgos de un rompimiento por algun choque violento. Hemos dicho anteriormente que seria bueno aumentarla $\frac{1}{3}$ y aconsejamos que se le diese este aumento en lo ancho, á fin de dar al camino de hierro mas fuerza lateral. La tabla servirá en este caso para hallar el peso y grueso de las barras, y para eso es menester suponer que es aumentada $\frac{1}{3}$ la carga sobre una rueda y tomar en la tabla el número que da la fuerza correspondiente á este aumento. Para los carruages montados sobre muelles y los carros de vapor, se supondrá que el esfuerzo sobre cada rueda no es mas que los $\frac{1}{3}$ de la carga efectiva que pesa sobre ella, lo que dará el esceso de fuerza que conviene en semejante caso.

TABLA NOVENA.

Peso que ocupa un metro cúbico, y espacio ocupado por 1000 kilógramas de diversas substancias.

SUBSTANCIAS.	*Peso en un metro cúbico.*	*Espacio ocupado por 1000 kilógram.*
	kilogramas.	*decimetros cúbicos.*
Plomo (fundido en rieles).	9072	110,23
Hierro (colado en barras ó goas). .	5760	156,37
Mármol y piedra caliza (en sillares).	2752	363,37
Granito.	2640	378,79
Piedra de Portland.	2112	473,48
Arcilla de alfareros.	2080	480,77
Tierra de miga.	2016	496,04
Piodra de Bath (en sillares). . . .	1976	506,00
Casquijo, (ó cascajo menudo). . . .	1742	574
Ladrillos comunes (secos).	1488	672
Agua de rio.	1000	1000
Hornaguera	912	1096
Encina seca.	832	1201
Trigo.	768	1303
Cebada	608	1644
Madera de pino.	608	1644
Heno, (añejo, compacto).	128	7810

FIN.

ESPLICACION DE LAS ESTAMPAS.

Figura 1ª Esta da una idea de la naturaleza de un camino de hierro. Se vé en ella una fila doble de carriles, de los que se llaman *estrechos*.

Para que pueda conocerse el modo de colocar las piezas, y cual es su disposicion por dentro ó debajo del camino, figuramos que falta un trozo de un lado del carril. Las barras de hierro sobre que caminan las ruedas, estan sentadas sobre unos poyos ó piedras sillares *a a*. El sendero ó andén por donde van las caballerías, se hace con guijo ó con piedra majada.

Figura 2ª Representa el carro de vapor que se usa en el camino de hierro de Hetton. A es la caldera: BB los cilindros de vapor. El hogar está por dentro de la caldera. F, indica la entrada. C, es el cañon de la chimenea. DD, los embolos flotantes que llevan y sostienen la armazon del carro sobre el eje, y hacen las veces de muelles, igualando y suavizando la presion sobre las barras. Como la fuerza motriz no es igual sobre las ruedas de ambos ejes á un mismo tiempo, es necesario sujetar los ejes por médio de una cadena G, que se ajusta y encaja sobre los dientes de unas ruedas que tienen los mismos ejes. El agua que debe servir para surtir la caldera, y el carbon que vá en *b* para calentarla, se llevan en un carrillo que sirve como de *alijo*, y asi se llama. I es el tonel del agua, y L un tubo ó manga por donde pasa el agua á la bomba H, que hace andar la máquina. WW son los carretones de hornaguera, cada uno de los cuales lleva 55 quintales (2680 kilóg.) Un solo carro de vapor lleva un tren ó resta de unos 13 á 17 carretones de estos. Van enganchados los unos de los otros por medio de cadenas muy cortas CC. Las cigüeñas ó manijas de combinacion que comunican la fuerza de los émbolos á las ruedas del carro de vapor, están sujetas á las ruedas en tal disposicion, que cuando un émbolo está á la mitad de la longitud de su salida, el otro está al principio de la suya.

Figura 3ª Vista de perfil de un camino de carriles estrechos de hierro colado, cuyas barras están sostenidas de poyos ó sillares de piedra DD.

Figura 4ª Plano de la barra que manifiesta las puntas escopleadas de los cabos de las barras, en el punto donde vienen á ajustarse sobre la pieza de *asiento* que las recibe y sujeta, la cual es de hierro.

Figura 5ª Corte transversal de la barra por C, medio de su longitud.

Figura 6ª Corte transversal B, que pasa por la juntura, el *asiento* y el poyo ó sillar que sirve de sosten.

Figura 7ª Corte transversal de las barras y del camino mismo sobre que están sentadas, y es el que vá á las pizarreras de Penrhyn. Las barras *a a*, tienen debajo una pieza de fundicion en forma de cola de milano que corresponde á una muesca ó encaje que hay en el *asiento b*, que tambien es de hierro colado, y pasa por bajo del andén C.

Figura 8ª Es el plano de uno de los cabos del *asiento* transversal, en el cual se ven las muescas donde encajan las otras piezas.

Figura 9ª Perfil de una parte de camino de carriles estrechos construido de hierro forjado. Sus barras están sostenidas por los *asientos* de fundicion A A A, colocados sobre poyos de piedra D D D, apartados tres pies unos de otros (91 centím.).

Figura 10ª Corte transversal por C B, que es el promedio entre los poyos ó sillones.

Figura 11ª Corte transversal de otra forma propuesta para carriles de hierro forjado.

Figura 12ª Perfil de un camino de carriles estrechos, de grueso uniforme, y que reune la tirantéz á la fortaleza.

Figura 13ª Corte por *ab* que hace ver la forma de la barra y el *asiento* que la recibe en el sitio de la juntura.

Figura 14ª Corte mas en grande de una barra de carriles estrechos para manifestar la disposicion de partes que dá el mayor grado de fuerza. Si el rectángulo *a b c d*, contiene la misma cantidad de materia, la fuerza de la barra cuyo corte tiene la forma A B C D, es á la fuerza en la forma del rectángulo como 1¼. 1: El método ordinario que consiste en reunir mayor volúmen de materia en la parte que está espuesta á la tension, no ha sido adoptada nunca para estos carriles, antes por el contrario se ha seguido con preferencia el sistema opuesto, aunque errado.

Figura 15ª 16ª 17ª Estas sirven para hacer ver la ventaja de los carriles largos. La porcion de carril C D fig. 16, es casi dos veces mas fuerte que la barra corta A B, fig. 15. La fig. 17 manifiesta cómo conviene distribuir los poyos de un carril largo para hacer todas sus partes de una fuerza igual con corta diferencia.

Figura 18ª Corte transversal de un camino de carriles planos, que manifiesta la forma de ellos en B B, y el modo de fijarlos sobre los poyos por medio de clavos embutidos en tarugos de madera metidos en los poyos C C. A es el andén que sirve para los caballos. Debe darsele cierta curbatura al ángulo interior que hace el borde con suelo de la barra, para que las ruedas tiren siempre á apartarse del borde.

Figura 19ª Hace ver la mitad de un carril plano, con un re-

fuerzo C por debajo, para aumentar su resistencia. A es el borde, y B el suelo de la barra ó carril por donde ruedan los carros.

Fig. 20ª 21ª y 22ª Estas demuestran el método de M. Le Cass para sentar los carriles planos.

Figura 23ª Rueda para un camino de carriles estrechos para hacer entender el modo de calcular su fuerza.

Figura 24ª Manifiesta la forma que deben tener los bordes de las ruedas para los caminos de carriles estrechos, cuando se quiere que den vueltas sin entorpecerse por el rozamiento de los bordes.

Figura 25ª Enseña el modo de disponer la materia de los rayos de las ruedas para hacerles lo mas fuertes que es posible, sin ofrecer dificultades para su modelo.

Figura 26ª Manifiesta como puede hacerse un carro de 8 ruedas, de modo que el esfuerzo de cada una sobre las barras de un camino de hierro sea igual. El cuerpo del carro, está colocado sobre los juegos de las ruedas en A A, y se junta allí por medio de un eje sobre el cual dan vueltas los juegos, cuando de resultas de alguna desigualdad, no están los ejes de las ruedas en el mismo plano.

Figura 27ª Esta demuestra el esfuerzo que se verifica sobre el eje mas bajo de un carro cuando rueda por un plano inclinado. G, es el centro de gravedad de la carga, y G C, la direccion del esfuerzo. Si el centro de gravedad estubiese levantado hasta G., entonces todo el esfuerzo cargaria sobre el eje mas bajo.

Figura 28ª Cuando un carro vá tirado de un caballo, éste tira ó trabaja con mas desahogo y ventaja, cuando la línea de tiro B C es casi perpendicular á su pecho y espalda, lo cual se puede lograr enganchando los tirantes á un punto cualquiera B, que esté bajo el nivel del eje: si las ruedas son demasiado altas para proporcionar esta direccion sin valerse de este medio, la mejor direccion relativamente al rozamiento del carro, es cuando la línea se halla por cima del nivel del eje, segun se vé de *b á c.*

Figura 29ª Guarda ó fiador para mantener la rueda en su lugar, en caso que falte la pezonera. A es la muesca abierta en el cubo: la pieza de guarda C, está sujeta por la clavija B. El gollete C, de la pieza de guarda, no debe tocar á los lados ó fondo de la muesca, cuando la rueda está sujeta en su sitio por la pezonera. D, es una chapilla para libertarla del polvo etc.

Figura 30ª Diseño que sirve para esplicar la teoría del *para-ruedas*, ó del mecanismo que sirve para amortiguar el movimiento de las ruedas.

Figura 31ª *Para-ruedas*, ó pieza mecánica para contener ó parar las ruedas que van con mucha velocidad, á las bajadas por un camino de hierro. Por medio de la palanca ó alza prima F que

gira sobre el centro E: las piezas de madera *a a*, son comprimidas contra la rueda, ó apartadas de ella, segun conviene. La pieza G, sirve para mantener la alza prima en el grado de presion necesario. La alza prima y manija, se figuran colocadas en medio del carro á lo ancho de éste, y que trabajan por medio del eje C, sobre las piezas del para-ruedas de ambos lados del carro. El movimiento de la rueda será entonces de A á B segun indica la flecha.

Figura 32ª Diseño que muestra el mejor modo de nivelar y pasar á un plano los resultados de la nivelacion para determinar la línea exacta que debe llevar un camino de hierro.

Figura 33ª Esta sirve para demostrar la resistencia de las ruedas sobre un plano inclinado.

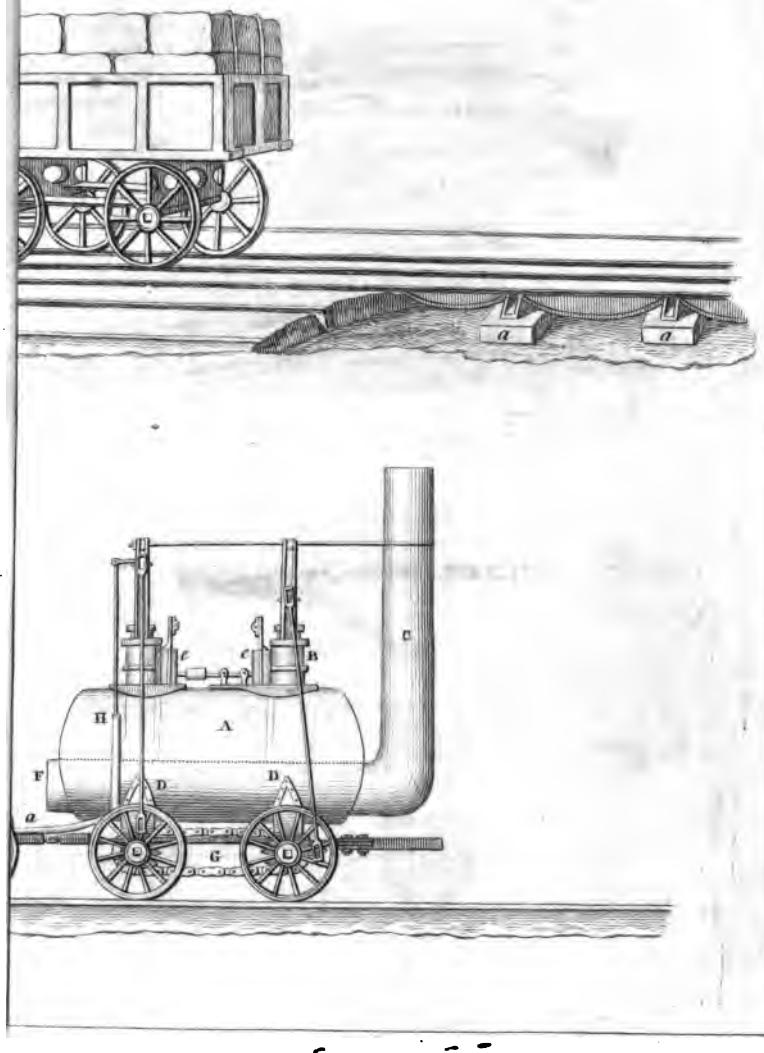
Figura 34ª y 35ª Estas son para demostrar la resistencia en los ejes de los carros.

ERRATAS.

Paginas.	Lineas.	Dice.	Lease.
XV.	8	40, ó 031.	20, 031.
id.	13	española tiene.	española: tiene.
8	20	7 millas.	$7\frac{5}{8}$ millas.
9	8	(6 mil.).	(76 mil.).
16	9	mas.	unas.
id.	34	(12 met.).	(2 met.).
19	18	(52 mil.).	(57 mil.).
21	3	Sillar C.	Sillar E.
24	36	(1815 gram.).	(18,5 gram.).
25	37	presentan.	presenta.
26	11	$\sqrt{2R-X^2}$	$\sqrt{2RX-X.^2}$
32	17	$\frac{V}{64\frac{1}{2}}p.$	$\frac{V^2}{64\frac{1}{2}p.}$
id.	29	$t=\frac{V}{32\frac{1}{2}}p=\sqrt{\frac{8}{16,\frac{1}{2}}p}$	$t=\frac{V}{32\frac{1}{2}p}=\sqrt{\frac{8}{16\frac{1}{2}p}}$
33	7	89.	8,9.
33	12	$0,0079=\frac{1}{122}$	$0,0089=\frac{1}{112}.$
id.	21	$\frac{840}{100}$	$\frac{100}{840}$
34	15	14 x 20.	14 x 120.
39	5	$\frac{V}{32}p$	$\frac{V}{32p.}$
14	última.	$\frac{14,7}{\sqrt{}}$	$\frac{14,7}{\sqrt{d}}$
43	26	v.	V.
id.	32	$\frac{2w}{V.}$	$\frac{2vv}{V.}$
45	7	7,2.	8,2
id.	8	8,0	3,0
id.	9	$5\frac{1}{2}$.	$5\frac{1}{2}$.
50	29	4,823.	4,873.
51	5	$\frac{f'}{f}$	$\frac{f}{f'}$
id.	26	arca.	area.
52	25	Fabreuheit.	Fahrenheit.
52	25	262,8.	292,8.
53	última.	V. una de las not. anterior.	Véase la nota, pág. 46.
55	2	chichos.	chicos.
id.	17	pico.	pies.
id.	33	á la misma.	es la misma.
id.	última.	arca.	area.

57	23	calculado.	calentado.
id.	28	diferencia.	diferencial.
58	2	decimas.	decímetros.
59	12	atos.	estos.
60	34	juntos	puestos.
62	26	sunchos.	cercos.
63	27	3,3.	3,5.
64	35	décimas.	decímetros.
65	8	$\frac{5600}{7200}$	$\frac{5600}{2200}$
id.	32	Con dos muedas.	Con ruedas.
66	34	(555 milim.).	(355 milim.).
69	32	(fig. 28).	(fig. 26).
74	36	sobrase.	C, obrase.
75	35	formar.	toman.
77	21	fig. 82.	fig. 32.
80	37	enseñarse.	ensayarse.
86	40	$3\frac{1}{4}$.	3.
98	17	1^2	$1\frac{1}{2}$.
105	27	Cúspide de.	Cúspide,
112	8	88,° 55.	83,° 55.
116	10	440,00000.	44,000,000.
id.	12	783,6000.	7,836,000.
id.	21	434,7000.	4,347,000.
id.	34	413,5000.	4,135,000
id.	36	641,8000.	6,418,000.
117	11	5920	4,920.
120	14	amparar.	comparar.
id.	26	$6\frac{1}{6}$.	$6\frac{1}{2}$.
126	20	14,29.	142,9.

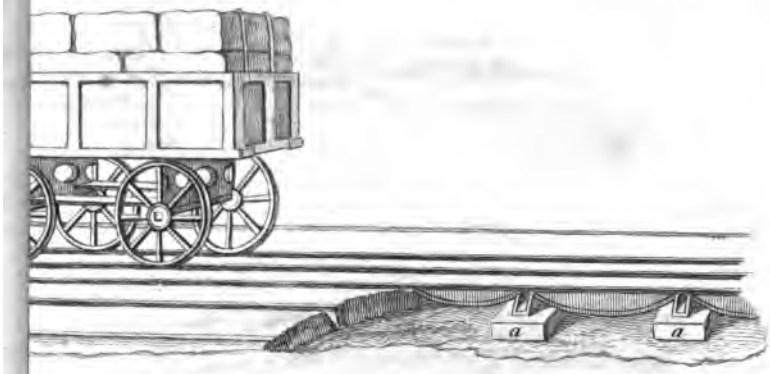
Lam.ª 1.

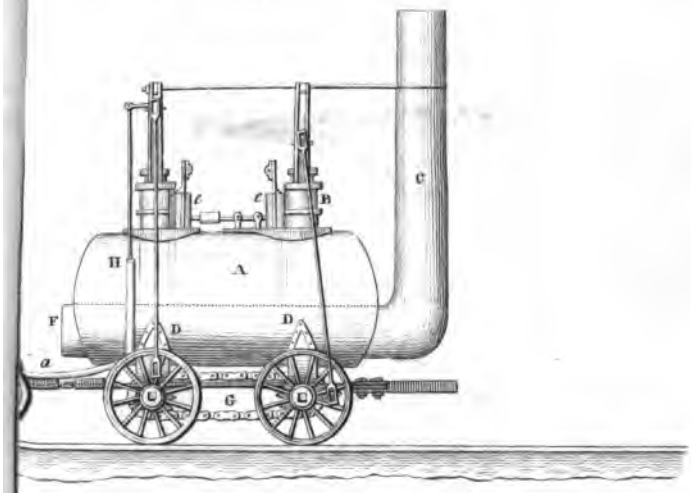


UNIV. OF MICH.
UNIV. OF MICH.

57	25	calculado.	calentado.
id.	28	diferencia.	diferencial.
58	2	decimas.	decimetros.
59	12	atos.	estos.
60	34	juntos	puestos.
62	26	zunchos.	cercos.
63	27	3,3.	3,5.
64	35	décimas.	decimetros.
65	5	$\frac{5600}{7200}$	$\frac{5600}{2200}$
id.	32	Con dos ruedas.	Con ruedas.
66	34	(555 milim.).	(355 milim.).
69	32	(fig. 28).	(fig. 26).
74	36	eobrase.	C, obrase.
75	35	formar.	toman.
77	21	fig. 82.	fig. 32.
80	37	enseñarse.	ensayarse.
86	40	$3\frac{1}{2}$.	3.
98	17	1^{2}	$1\frac{1}{2}$.
105	27	Cúspide de.	Cúspide,
112	8	88,° 55.	83,° 55.
116	10	440,00000.	44,000,000.
id.	12	783,6000.	7,836,000.
id.	21	434,7000.	4,347,000.
id.	34	413,5000.	4,135,000
id.	36	641,8000.	6,418,000.
117	21	3920	4,920.
120	14	amparar.	comparar.
id.	26	$6\frac{1}{6}$.	$6\frac{1}{4}$.
126	20	14,29.	142,9.

Lam.ª 1.





UNIV. OF MICH.

Lam.ª 2.

Fig. 5.

Fig. 6.

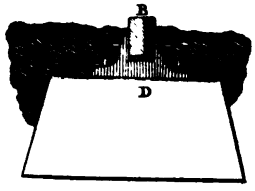


Fig. 7.

Fig. 10

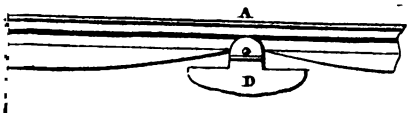
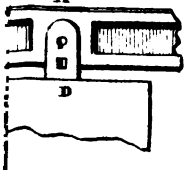


Fig. 13.



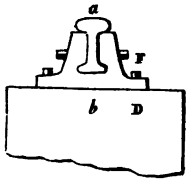
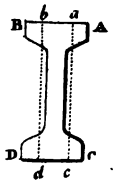
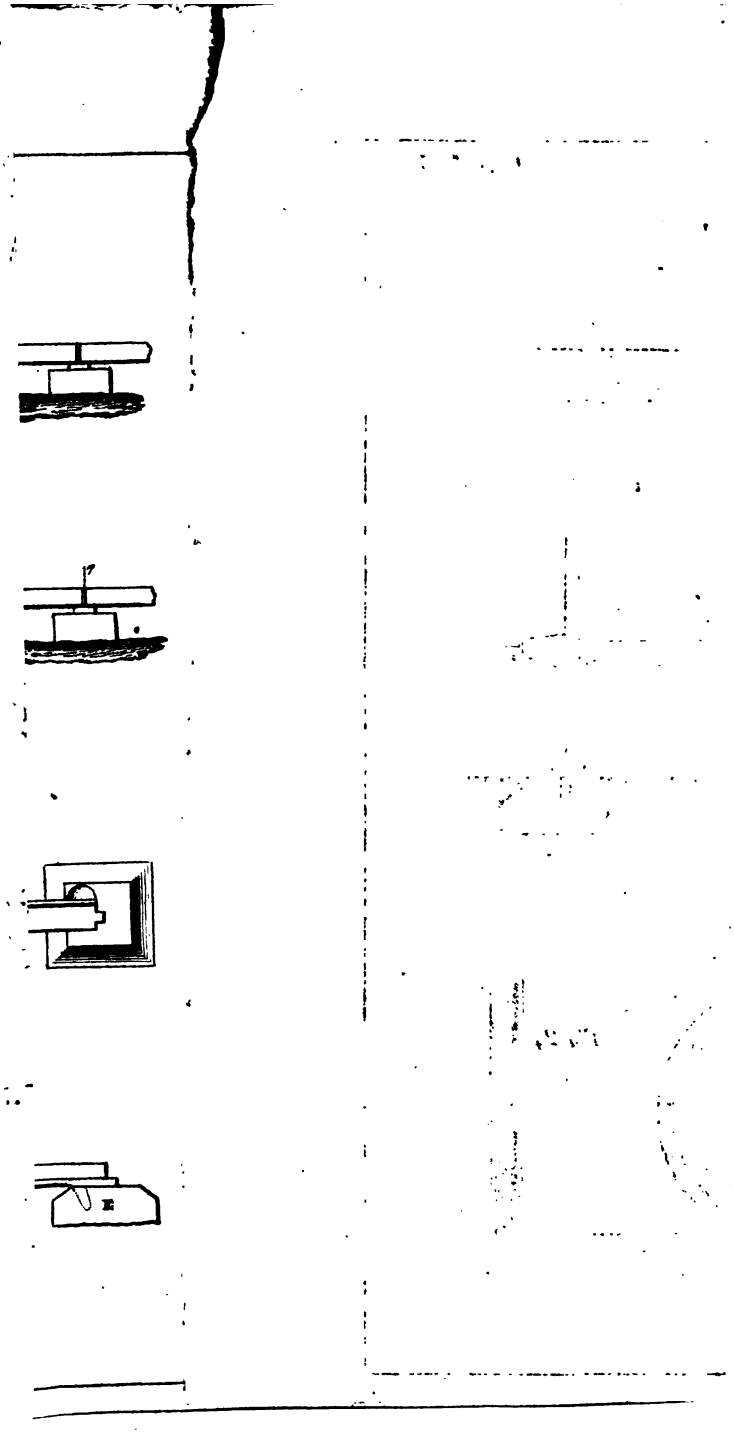


Fig. 14.




E

ig. 27.

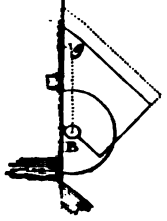
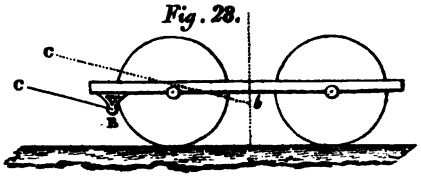


Fig. 28.



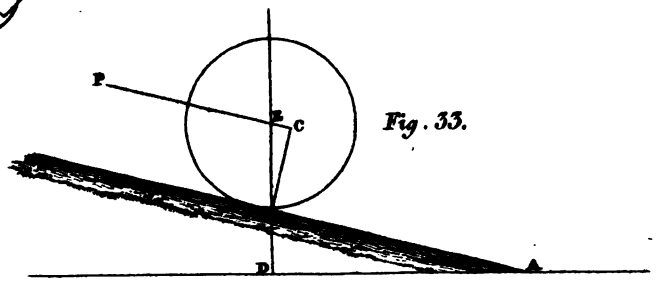


Fig. 33.

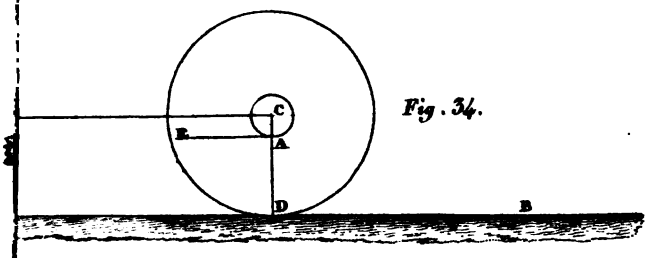


Fig. 34.

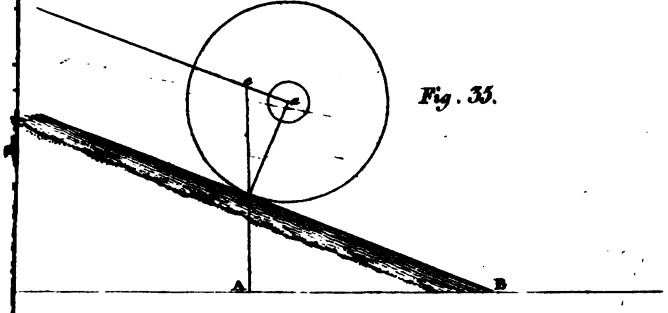
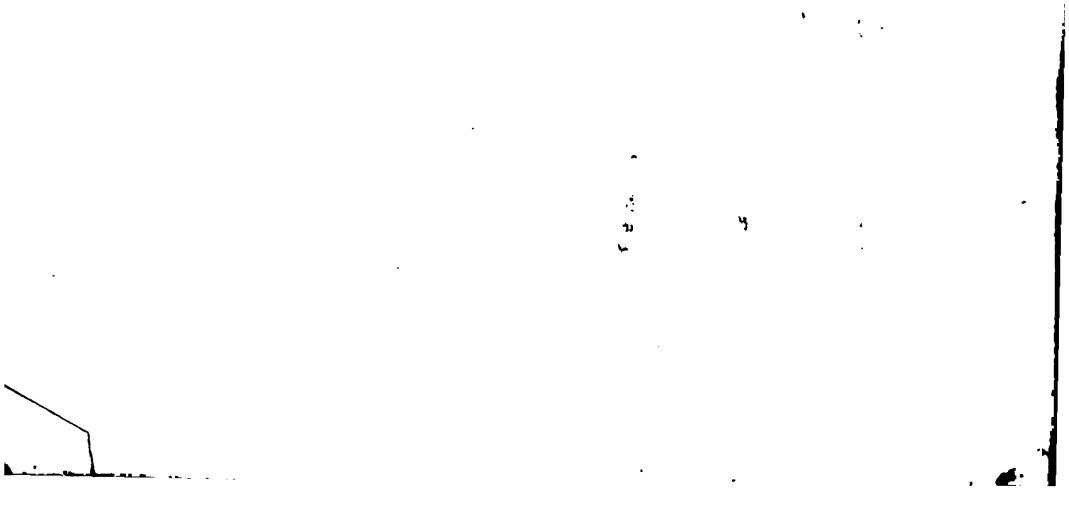


Fig. 35.

UNIL



ergu hanu